



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD

ENERGETIC UTILIZATION OF WASTEWATER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. Jan Žáček

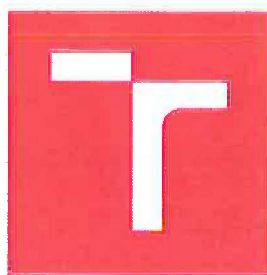
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

SUPERVISOR

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVISŤE	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Jan Žáček
NÁZEV	Energetické využití odpadních vod
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016


.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT



PODKLADY A LITERATURA

- [1] HLAVÍNEK, Petr; HLAVÁČEK, Jiří. Čištění odpadních vod-praktické příklady výpočtů, NOEL 2000, 1996, 196 s. ISBN 80-86020-00-2.
- [2] HLAVÍNEK, Petr; MIČÍN, Jan; PRAX, Petr. Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, 2001, 251 s., ISBN 80-86020-30-4.
- [3] KREJČÍ, Vladimír; HLAVÍNEK, Petr; ZEMAN, Evžen. Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup, NOEL 2000, 2002, ISBN 80-86020-39-8.
- [4] MALÝ, Josef; MALÁ, Jitka. Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno: ARDEC s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [5] METCALF & EDDY: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse (4th Edition ed.), McGRAW-HILL, 2001, ISBN 0-07-041878-0.
- [6] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.
- [7] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Diplomová práce bude zaměřena na řešení problematiky energetického využití odpadních vod. V první části práce bude zpracována rešerše problematiky, porovnány jednotlivé technologie a praktické aplikace v tuzemsku a v zahraničí. Práce bude zpracovávána ve spolupráci s firmou HUBER CS.spol. s r.o. a ASIO spol. s r.o. na základě požadavku z praxe. V druhé části práce bude zpracován návrh vytápění polyfunkční budovy na kmenové stoce ve městě Brně ve spolupráci s developerem a zpracováno technicko-ekonomické posouzení metodou NPV. Podklady si diplomant zajistí po dohodě s vedoucím práce v rámci diplomového semináře. Při zpracování textů, výpočtů a výkresové části dokumentace bude v maximální míře využita výpočetní technika.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce předkládá různé metody energetického využití odpadních vod. Ukazuje, že odpadní voda je zdrojem tepelné energie, která doposud nebyla téměř využívána. Práce se zaměřuje především na rekuperaci tepla z odpadní vody na obtoku z kanalizační stoky s využitím modulárních výměníků. Je zpracován návrh vytápění polyfunkční budovy z bypassu z kmenové stoky v městě Brně. Hlavním zjištěním je, že odpadní voda, jakožto nízopotenciální zdroj energie, může v společném systému s tepelným čerpadlem sloužit nejen k vytápění a ohřevu TUV, ale i k chlazení polyfunkčního objektu. Součástí práce je rovněž technicko-ekonomické posouzení metodou NPV.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rekuperace tepla, tepelné čerpadlo, tepelný výměník, čerpací jímka, odpadní voda

ABSTRACT

Diploma thesis presents various methods of energetic utilization of wastewater. It shows that wastewater is source of heat energy that has not been used yet. The thesis focuses mainly on heat recovery from wastewater from sewer bypass by modular heat exchangers. Design of heating of polyfunctional building from bypass from main sewer in Brno is developed. The main finding is that wastewater as low potential source of energy can together with heat pump be not only used for heating and heating of domestic hot water but also for cooling of polyfunctional object. Part of work is also technical-economical assessment by the NPV method.

KEY WORDS

Heat recovery, heat pump, heat exchanger, pump station, wastewater

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jan Žáček *Energetické využití odpadních vod*. Brno, 2016. 85 s., 5 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2017

Bc. Jan Žáček
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Dále patří velký dík Ing. Janu Ševčíkovi z firmy Huber CS spol. s.r.o., Ing. Václavu Hodaňovi z firmy LK PUMPSERVICE a Ing. Marku Bláhovi ze společnosti TEPELNÁ ČERPADLA IVT s.r.o., kteří mi pomáhali svými připomínkami, radami i náměty při obtížích či otázkách, kterým jsem v práci čelil.

Rovněž patří můj dík rodině za podporu při studiu a tvorbu potřebného zázemí. Děkuji také přítelkyni za její velkou trpělivost se mnou při práci na tomto tématu a její podporu.

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	ODPADNÍ VODA JAKO ZDROJ ENERGIE	11
2.1	HISTORIE ZNOVUVYUŽITÍ ODPADNÍ VODY	11
2.2	DRUHY ENERGIE V ODPADNÍ VODĚ.....	12
2.3	CHARAKTERISTIKA ODPADNÍCH VOD	12
2.3.1	TEPLOTA.....	12
2.3.2	PRŮTOK	13
2.4	METODY REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY.....	13
2.4.1	REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY UVNITŘ BUDOVY	14
2.4.2	REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY NA KANALIZAČNÍ STOCE MIMO BUDOVU	18
2.4.3	REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY PŘED/ZA ČOV	23
2.5	ZPŮSOBY VÝROBY TEPLA Z ODPADNÍ VODY TEPELNÝM ČERPADLEM	27
3	REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY NA OBTOKU Z KANALIZAČNÍ STOKY S VYUŽITÍM MODULÁRNÍCH VÝMĚNÍKŮ	28
3.1	POPIS SYSTÉMU	28
3.2	ČÁSTI SYSTÉMU.....	28
3.2.1	POTRUBÍ.....	28
3.2.2	MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ	29
3.2.3	MODULÁRNÍ TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....	30
3.2.4	TEPELNÉ ČERPADLO	35
3.3	KRITÉRIA NÁVRHU	38
3.4	NÁVRH.....	40
4	NÁVRH VYTÁPĚNÍ POLYFUNKČNÍ BUDOVY NA KMENOVÉ STOCE VE MĚSTĚ BRNĚ	42
4.1	PODKLADY.....	42
4.2	POUŽITÉ PŘEDPISY.....	42
4.3	CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ.....	43
4.4	POPIS OBJEKTU.....	44
4.5	TEPLOTA A PRŮTOK ODPADNÍ VODY	44
4.5.1	ÚNOR.....	46
4.5.2	DUBEN	47
4.5.3	SRPEN.....	48

4.5.4	ŘÍJEN	49
4.6	NÁVRH.....	50
4.6.1	NÁVRH PROPOJOVACÍHO POTRUBÍ	50
4.6.2	NÁVRH ČERPACÍ JÍMKY	52
4.6.3	NÁVRH MĚŘENÍ A REGULACE.....	59
4.6.4	NÁVRH VÝMĚNÍKU	60
4.6.1	NÁVRH ODTOKOVÉHO POTRUBÍ	68
4.6.2	NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA	68
4.7	TECHNICKO EKONOMICKÉ POSOUZENÍ METODOU NPV	69
5	ZÁVĚR	75
6	POUŽITÁ LITERATURA.....	76
	SEZNAM TABULEK	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	84
	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

1 ÚVOD

Evropská unie si v programu 2020 Energetická Strategie vytyčila priority týkající se energie. Státy EU se zavázaly, že do roku 2020 sníží podíl skleníkových plynů o 20 %, zvýší podíl obnovitelných zdrojů a energetickou účinnost o nejméně 20 %. [1] Jedna z možných cest, jak naplnit závazky vůči Evropské unii, může být využití odpadní vody jako zdroje tepelné energie. Tento zdroj je obnovitelný, ekologicky šetrný a dostupný. Odpadní voda v sobě skrývá energii chemickou, potenciální, kinetickou a především tepelnou.

Teplá užitková voda tvoří velkou část energetické spotřeby v budovách. V odpadní vodě zůstává velká část této energie a odtéká na čistírnu odpadních vod. K obnově této energie je zapotřebí jednak výměník tepla, v případě větších tepelných výkonů i tepelné čerpadlo. Charakteristickou vlastností odpadní vody oproti ostatním zdrojům tepelné energie pro tepelné čerpadlo je poměrně stálá a vysoká teplota. Rekuperovat teplo z odpadní vody lze přímo v budově, z kanalizační stoky či před/za ČOV. Tyto systémy zpravidla nefungují monovalentně, tj. mají záložní zdroj tepla v případě výpadků či malého topného výkonu.

Aplikace v zahraničí ukázaly, že se odpadní voda dá využít nejen pro vytápění a ohřev TUV, ale i chlazení budov. První instalace byly vystavěny před více než 20 lety. Studie ve Švýcarsku a Německu ukázaly, že 3 % všech budov mohou být zásobovány teplem z odpadních vod. Z tohoto důvodu ve Švýcarsku začali pracovat na programu, který cílí na systematický výzkum potenciálu vytápění a chlazení odpadní vodou. Tento program může sloužit jako inspirace České republice při energetickém využití odpadních vod. K jeho hlavním bodům patří:

- podpora výzkumných projektů a technologického rozvoje,
- podpora a účast na pilotních a demonstračních projektech,
- vývoj nástrojů pro systematické posuzování potenciálu a umístění,
- podpora a realizace studií,
- zajištění poradenství pro stavitele a místní orgány,
- vývoj nástrojů pro projektanty a provozovatele,
- vývoj nástrojů pro zajištění kvality pro návrh a výstavbu. [2]

Tato práce se soustředí především na rekuperaci tepla z odpadní vody na obtoku z kanalizační stoky modulárními výměníky. Tento systém již v několika zemích světa s úspěchem našel své uplatnění. Při splnění několika kritérií lze tento systém v budoucnu aplikovat v České republice. Základem tohoto systému je úspěšné odebrání části průtoku odpadních vod z kanalizační stoky, následné vyčerpání do požadované výšky výměníku a zpětné odvedení zpátky do stoky. Tato řešení zpravidla vyžadují výstavbu čerpací jímky a mechanického předčištění, které zabrání ucpání výměníku tepla. Teplo odpadní vody odebírají přes výměník tepelná čerpadla, která pomocí několika neustále se opakujících cyklů vyrábí potřebné teplo.

V práci je poté uveden návrh vytápění polyfunkční budovy v městě Brně. Byla provedena analýza teplot a průtoků v kmenové stoce na ulici Vlhká a jejich vyhodnocení. Celý systém je inspirován systémem Huber ThermWin. V závislosti na analýze průtoků, bylo do profilu stoky umístěno propojovací potrubí, které propojuje kmenovou stoku s čerpací jímkou. Jako hlavní prvek mechanického předčištění bylo navrženo automaticky čištěné síto s vertikálním odstraňováním a odvodňováním shrabků. Pro čerpání odpadní vody byla zvolena ponorná kalová čerpadla, s jejichž pomocí se odpadní voda dostane do požadované výšky. Pro efektivní využití tepla byly do systému zvoleny modulární výměníky s automatickým čištěním. Odpadní voda poté odtéká se shrabkami zpátky do stoky. Na konci práce je provedeno technicko-ekonomické posouzení metodou NPV.

2 ODPADNÍ VODA JAKO ZDROJ ENERGIE

2.1 HISTORIE ZNOVUVYUŽITÍ ODPADNÍ VODY

Využití odpadní vody není ničím novým, ovšem využití některých z jejich potenciálních zdrojů energie je otázkou posledních desetiletí. Lidé si začínají uvědomovat, že společně s odpadní vodou vytéká do kanalizace nevyužitý zdroj energie. Získávání energie z odpadní vody je tedy aktuální otázkou, protože je jednak šetrné k životnímu prostředí a jednak výhodné.

Odpradávná využívali lidé své fekálie, kdy je u svých obydlí využívali jako hnojivo. Staří Římané a Řekové odpadní vodu z měst využívali v přilehlých oblastech k zalévání a hnojení. V průběhu středověku byla odpadní voda jako celek odvážena na speciální farmy. Na těchto farmách byla rovněž odpadní voda používána především k zemědělským účelům. Jejich velikost rostla a v závislosti na tom také zdravotní problémy a dopady na životní prostředí. V půlce 20. stol. takové využití končí. [3]

V dnešní době dochází k využívání energie z odpadních vod např. ve vyhnívacích nádržích. V těchto nádržích dochází k tvorbě metanu či bioplynu a při jejich spalování dochází k produkci energie. Tyto nádrže jsou ale samy o sobě energeticky náročné. Nedávné výzkumy ukázaly, že může být odpadní voda rovněž přeměněna v elektrickou energii a pohonnou hmotu. Tyto výzkumy jsou však zatím v prvopočátcích. Klíčem k energii jsou v tomto případě bakterie. Bakterie využívají odpadní vodu jako potravu a dochází tak ke vzniku chemických reakcí. Tyto reakce vytvářejí elektrické výboje. Při rozkladu odpadní vody jsou přirozeně generovány elektrony, které jsou využity mikrobiálními buňkami. Odpadní voda v tomto případě nejen tvoří obrovské množství energie, ale zároveň je i čištěna. Dalším procesem jak získat energii z odpadní vody je nechat probíjet odpadní vodu elektrinou. Při této metodě vznikají výpary, ze kterých, když jsou zachyceny a kondenzovány, může být vyrobena pohonná hmota. Technologický vývoj se také v dnešní době soustředí na tzv. tří-generační systémy. Jedná se o systémy, které využívají odpadní vodu k tvorbě tepla, elektřiny a vodíku. Další vyvíjené technologie jsou mikrobiální palivové články. Palivové články obecně vyrábějí elektřinu za pomoci chemických reakcí využívající vodíkové ionty. Mikrobiální palivové články jsou zařízení, ve kterém dochází ke konverzi chemické energie paliva na elektrickou za přispění enzymové výbavy mikroorganismů. [4]

2.2 DRUHY ENERGIE V ODPADNÍ VODĚ

Odpadní voda disponuje 4 základními druhy energií:

1. Tepelná

Tepelnou energii v odpadní vodě lze charakterizovat pomocí měrné tepelné kapacity, tedy množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg látky o 1 K. V případě odpadní vody se jedná $4,2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ($4,2 \text{ MJ/m}^3$ na 1°C). [5]

2. Potenciální

Na základě gravitačního zrychlení a výškového rozdílu hladin lze dosáhnout v odpadní vodě energie $9,8 \text{ kJ/m}^3$ na 1 metr výšky. [5]

3. Kinetická

Kinetická energie je dána spádem a rychlostí odpadní vody. Při rychlosti $0,6 \text{ m/s}$ se rovná kinetická energie odpadní vody $0,18 \text{ kJ/m}^3$. [5]

4. Chemická

Má se za to, že chemická energie v odpadní vodě přímo souvisí s CHSK. Nejčastěji uváděnou hodnotou v tomto případě je $6,3 \text{ MJ/m}^3$. Nelze ovšem přesně odvodit vztah mezi CHSK a obsahem energie. Heidrich uvádí, že smíšená odpadní voda po lyofilizaci (minimalizace ztrát těkavých látek) obsahoval až $16,8 \text{ MJ/m}^3$. Komunální odpadní vody disponovali chemickou energií $7,6 \text{ MJ/m}^3$. [6]

2.3 CHARAKTERISTIKA ODPADNÍCH VOD

2.3.1 TEPLOTA

Odpadní voda se vyznačuje relativně vysokými teplotami v topném období. V tom tkví jedna z hlavních výhod oproti ostatním zdrojům energie pro tepelná čerpadla (podzemní voda, geotermální teplo, vzduch). Hodnoty nižší než 10°C se vyskytují zřídka. Proto je odpadní voda ideálním zdrojem tepla. Odpadní vodu lze rovněž využívat jako chladicí médium pro klimatizaci, jelikož její teplota během léta vyšplhá na maximálně 23°C . Teplota surové odpadní vody (před nátokem na ČOV) se mění jak v průběhu dne, tak i týdne. V průběhu dne se mění teplota v závislosti na koncentraci splašků. V noci, kdy je zpravidla koncentrace splašků menší, je teplota odpadní vody o $2 - 3^\circ\text{C}$ nižší než ve dne. V průběhu týdne se může měnit teplota odpadní vody díky dešti. Pokud prší, klesne teplota vody u jednotné kanalizace o pár stupňů. Vyčištěné vody na výstupu z ČOV mění teplotu jen velmi málo, ať už v průběhu dne nebo týdne. [2]

Z pohledu provozovatele ČOV má nízká teplota odpadní vody negativní dopad na biologické procesy. Efektivita biologických procesů (nitrifikace) je závislá na teplotě. Tam, kde je teplota odpadní vody přirozeně nízká, může být energetické využití odpadních vod ihned zamítnuto.

V tabulce 1 jsou hodnoty průměrné roční produkce a spotřeba tepla pro rozdílné objekty za celý rok.

TAB. 1 PRŮMĚRNÁ ROČNÍ PRODUKCE A SPOTŘEBA TEPLA [7]

	<i>Produkce</i>	<i>Spotřeba</i>
Rodinný dům	0,2 kW	2,3 kW
Panelový dům	16 kW	150 kW
Město s 10 000 obyvateli	700 kW	9 000 kW
Město s 1 000 000 obyvatel	70 MW	1 300 MW

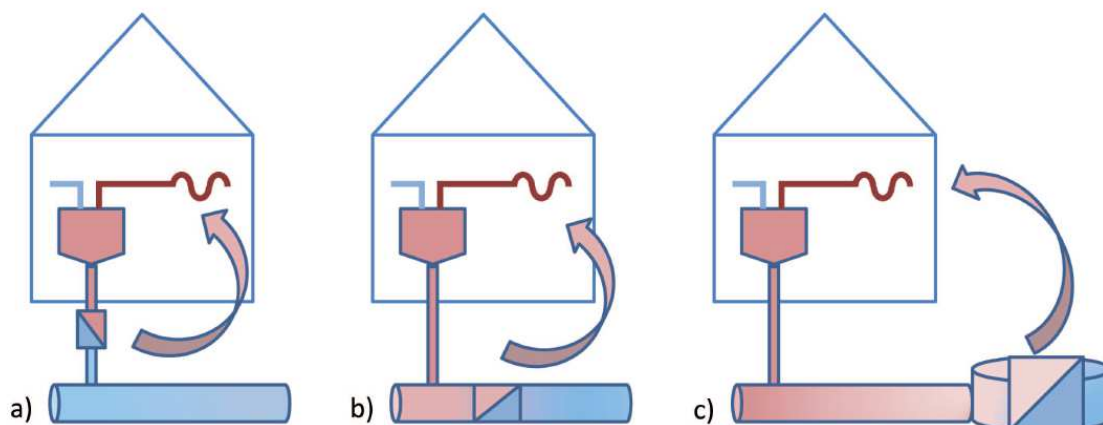
2.3.2 PRŮTOK

Mění se průtok je dalším charakteristickým rysem odpadní vody. Průtok odpadní vody se pohybuje mezi nočním minimem během suchého období a maximem během silných dešťů. Proto je při plánování či dimenzování systému rekuperace tepla důležité přesně definovat průtoky vod. Při využití odpadních vod uvnitř budov, je třeba počítat s tím, že průtok kolísá. Při větších tepelných potřebách je proto potřeba odpadní vodu zadržet, abychom z ní zpětně mohli získávat teplo. [2]

2.4 METODY REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY

Existuje velké množství způsobů jak využít tepelnou energii z odpadních vod, při níž je využito různých druhů tepelných výměníků. Základní rozdělení je následující (viz obrázek 1):

- Rekuperace tepla z odpadní vody uvnitř budovy
- Rekuperace tepla z odpadní na kanalizační stoce mimo budovu
- Rekuperace tepla z odpadní vody před/za ČOV [8]



Obr.1 – Metody rekuperace tepla z odpadní vody a) Rekuperace tepla z odpadní vody uvnitř budovy, b) Rekuperace tepla z odpadní vody na kanalizační stoce mimo budovu, c) Rekuperace tepla z odpadní vody před/za ČOV [2]

2.4.1 REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY UVNITŘ BUDOVY

Charakteristickým rysem systému rekuperace tepla z odpadní vody uvnitř budov je nerovnoměrný a přerušovaný průtok. Vhodnými objekty jsou zpravidla větší budovy, které se vyznačují velkým a relativně konstantním průtokem. Mezi takové objekty patří např. aquapark, wellness centrum, lázně, hotely, prádelny, nemocnice, některé průmyslové stavby, plovárny ad. Zvláště vhodnou odpadní vodou pro takové účely se jeví voda šedá. Šedá voda pochází především z van, umyvadel, bazénů, praček, myček ad. Teplota, složení a množství se liší objekt od objektu, proto je vhodné samostatně posoudit vhodnost každého zařízení pro rekuperaci tepla. Čím je větší produkce a teplota odpadních vod, tím je vhodnější rekuperační systémy aplikovat. [8] [9] Nejčastěji se v praxi vyskytují dva druhy aplikací, a sice:

1. Předehřev studené vody pro okamžitou spotřebu

V rámci předehřevu studené vody pro okamžitou spotřebu bylo vyvinuto několik systémů, v následujícím textu budou představeny dva, které se v praxi objevují nejčastěji:

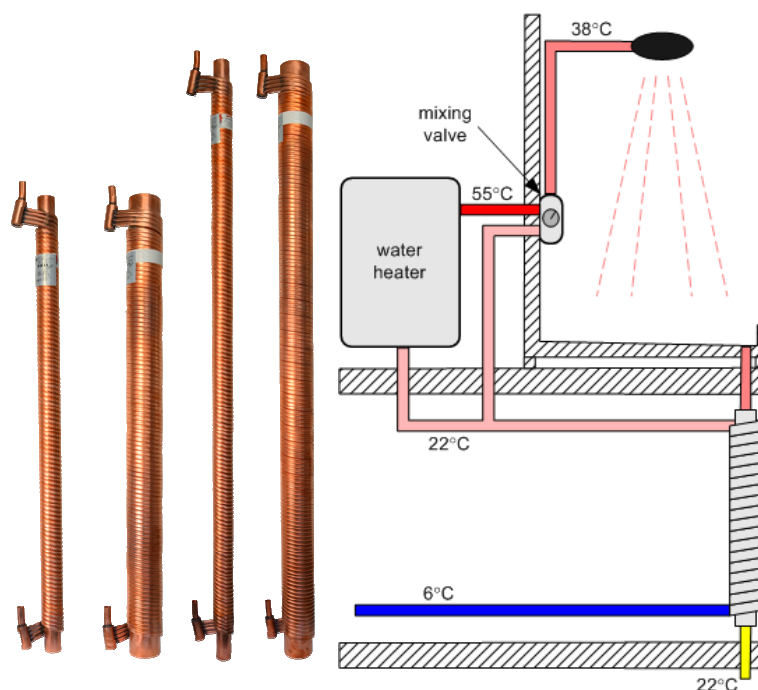
A. Měděné potrubí

Takové tepelné výměníky pracují v gravitačním režimu. Celý systém se skládá ze dvou zpravidla měděných trubek jako na obrázku 2. Hlavní potrubí je přímo napojeno na drenážní potrubí, kterým teče horké médium. Druhé měděné potrubí obaluje hlavní jako cívka, a proudí v něm studené médium. Studené médium se postupně ohřívá díky přestupu tepla z média horkého. Např. pohybuje-li se vstupní teplota odpadní vody okolo 40 °C, dokáže vyhřát studenou vodu až na 27 °C. Základní princip této metody se nazývá gravitační film, což znamená, že se odpadní voda drží na vnitřní straně potrubí v důsledku povrchového napětí, díky čemuž se zlepší rychlost přenosu tepla. Při využití systému pro rodinné domy a menší provozy nelze dosáhnout takových teploty a teplota předehřáté

vody se pohybuje okolo 20 °C. Ohřátou vodu lze využít jak pro sprchy, tak umyvadla, díky čemuž dochází ke snížení spotřeby TUV a poměr teplé vody ke studené ve směšovací baterii. Oproti přehřívání studené vody do zásobníku TUV má výhodu v tom, že zde nedochází k takovým ztrátám, protože se nachází blíže k směšovací baterii. Ukázkové schéma zapojení měděného potrubí je vyobrazeno na obrázku 3. [8] [9]

Příklad aplikace:

V městě Peterborough v Ontariu v Kanadě je využit systém Power-pipe, díky kterému dochází k ohřívání čerstvé pitné vody odpadní vodou z umývání krabiček na jídlo. Celý systém byl pořízen za 27 528 \$ a již první rok bylo ušetřeno 26 136 \$. Investice tedy byla vrácena po pouhém 1,1 roku. Systém rovněž snižuje emise skleníkových plynů o 130 t/rok. [10]



Obr.2 vlevo – Měděné potrubí vlevo [11], Obr. 3 vpravo – Schéma zapojení měděného potrubí (mixing valve=směšovací baterie; water heater = bojler) [12]

B. Sprchový kout se zabudovaným výměníkem/rekuperačním panelem

Výměník se nachází přímo pod odtokem ze sprchového koutu. Jedná se o poměrně efektivní způsob, jak co nejlépe získat teplo z odpadní vody. Jakmile teplá odpadní voda odteče, protéká přes „měděný talíř“ nebo jiný měděný tvar. Pod tímto talířem se nachází samotný měděný výměník, ve kterém proudí studená voda. Ta se zahřívá za pomoci horké odpadní vody, která kolem proudí. Takový výměník obsahuje pouze litr vody, proto je schopen ohřát studenou vodu ve velmi krátkém čase. Takový systém lze s úspěšností instalovat v rodinných domech, bazénech, tělocvičnách aj. [8] [9]

Variantním řešením je také rekuperační panel s nerezovými výměníky. Dvěma hlavními součástmi regeneračního panelu je plastové voděodolné pouzdro a nerezový výměník. Rekuperační panel by se měl nacházet v co největší blízkosti odpadního potrubí z umyvadel či sprch. Z jedné strany proudí do panelu teplá odpadní voda, zatímco z druhé strany proudí studená voda. Zde dochází k přesunu tepla z teplé odpadní vody na čistou studenou vodu. Ohřátá voda dále pokračuje do zásobníku TUV či směšovací baterie a klesá tak spotřeba teplé vody. [8] [9] Ukázkové schéma obou variant je vyobrazeno na obrázcích 5 a 6.

Výhody:

- nejbližze zdroji energie,
- prostorově nenáročný systém,
- zpravidla nižší počáteční náklady,
- nízké nároky na údržbu tepelného výměníku,
- krátká návratnost, průměrně okolo 2-4 let.

Nevýhody:

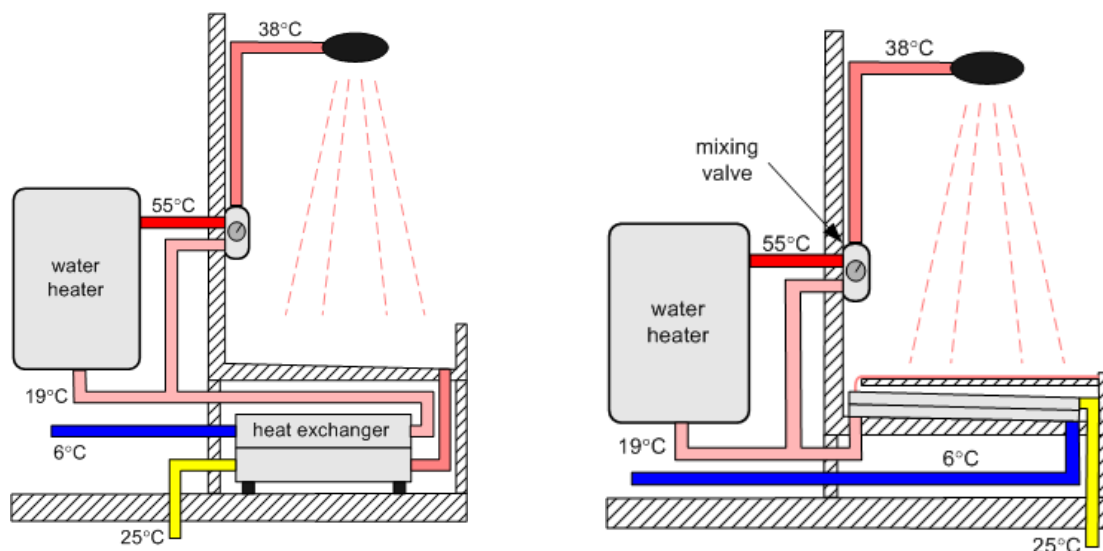
- pracuje pouze tehdy, pokud je produkována teplá odpadní voda,
- nutné okamžité využití,
- malá návratná teplota. [8] [9]

Příklad aplikace:

V České republice nabízí sprchové výměníky společnost SAKAL, viz obrázek 4. K jejich instalaci došlo např. v Innsbrucku v rámci iniciativy evropských měst na vytvoření a zajištění kvality života svých obyvatel se zřetelem na snížení energetické náročnosti. Dle propočtů tyto výměníky dokáží ušetřit až 45 % energie původně vynaložené na ohřev vody pro sprchování. Při sprchování jednoho člověka po dobu 6 minut jednou denně, dochází k roční úspoře až 480 kWh. [13]



Obr.4 – Sprchový výměník NELA od firmy SAKAL [13]



Obr.5 vlevo - Schéma zapojení sprchového koutu se zabudovaným výměníkem (heat exchanger = výměník tepla; water heater – bojler) [12], Obr.6 vpravo - Schéma zapojení sprchového koutu s rekuperačním panelem (mixing valve = směšovací baterie; heat exchanger = výměník tepla; water heater – bojler) [12]

2. Předehřev studené vody do zásobníku TUV

Zatímco předehřev vody pro okamžitou spotřebu může být použit i u menších objektů, předehřev studené vody do zásobníku TUV je vhodnější pro budovy s velkou spotřebou vody jako např. hotel, lázně, nemocnice ad. Odpadní voda je předtím, než se dostane do kanalizačního systému, shromážděna v zásobníku jako na obrázku 7. Zde jsou osazeny výměníky tepla, díky kterým dosáhneme rekuperace tepla z odpadní vody. Takový systém se vyplatí, pouze pokud operuje s průtoky okolo 10 000 l/den. V případě, že je využito tepelných čerpadel, lze mnohonásobně navýšit energii ze získané teploty. [8] [9]

Výhody:

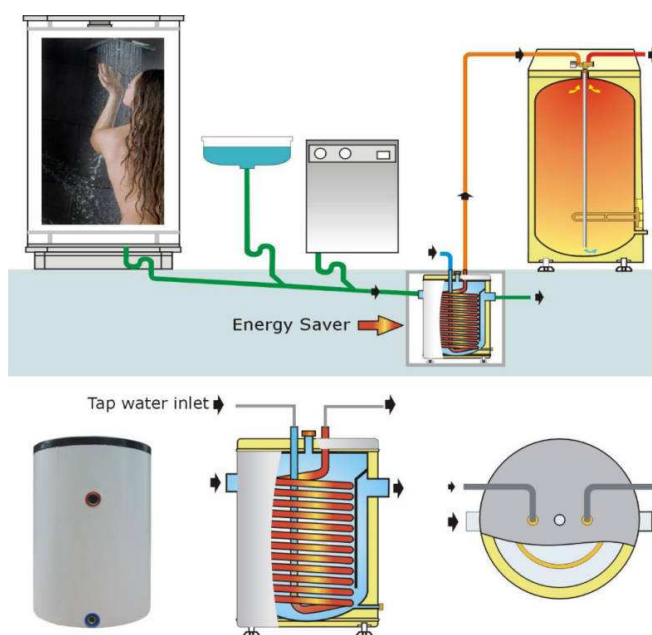
- v blízkosti zdroje
- vysoké teploty při využití tepelných čerpadel.

Nevýhody:

- neustále se měnící průtok odpadních vod, což má za příčinu rozdílný zisk tepla z odpadních vod,
- vysoké investiční náklady. [8] [9]

Příklad aplikace:

Rekuperace odpadní vody pomocí systému Squirrel. Voda opouštějící sprchovou hlavici o teplotě 42 °C, se zchladí na 37 °C, než se dostane do zásobníku. Zásobník dokáže udržet až 120 litrů této horké odpadní vody k ohřátí jakékoliv pitné vody mířící do bojleru. Odpadní voda v tomto případě dokáže ohřát vodu až na 25 °C předtím, než se dostane do bojleru. [15]



Obr.7 –Schéma předeřívání studené vody do zásobníku TUV (tap water inlet = vstup čisté vody) [14]

2.4.2 REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY NA KANALIZAČNÍ STOCE MIMO BUDOVU

Hlavní rozdíl mezi rekuperací tepla z odpadní vody uvnitř budov a na kanalizační stoce je neustálý a dostatečně velký průtok odpadních vod. Kromě využití modulárních výměníků, které budou rozebrány v jiné části práce, lze v zásadě rozdělit rekuperaci tepla z odpadní vody na kanalizační stoce mimo budovu na:

1. Využití výměníků zapuštěných na dno stoky

Systémy lze využívat, jak pro malé tak velké průtoky, podle kterých jsou umístěny výměníky ve stoce (např. na dně jako na obrázcích 8,9 a 10). Jejich výhoda je, že jsou navrhovány pro stávající i nové stokové systémy a jejich instalace je velmi snadná viz obrázky 8,9 a 10. K přestupu tepla dochází přes stěnu výměníku, pod níž se nachází síť

potrubí (příváděcí, vratné a bypass), které zajišťují přesun tepla do tepelného čerpadla. Investiční náklady na prefabrikáty na stokách navyšují cenu stoky pouze 2x či 3x.

Výhody:

- jednoduchá montáž, demontáž či rozšíření systému,
- instalace jak na nových tak i stávajících potrubích,
- ideální jak pro nízké, tak i vysoké průtoky.

Nevýhody:

- pouze v potrubích od určité dimenze
- nutnost čištění výměníků,
- ztráta průřezové plochy,
- počáteční náklady,
- k systému musí být připojeno tepelné čerpadlo. [16] [9]

Příklad aplikace:

V Binningenu ve Švýcarsku je vytápěno 300 bytů tepelným čerpadlem, které využívá teplo z odpadní vody z nedaleké stoky. Výměníky jsou zapuštěné na dno stoky. Celý výměník se skládá ze 47 elementů, každý o délce 3 m a šířce 0,8 m. Celková délka činí 140 m. Tepelné čerpadlo je spojeno se stokou 70 m potrubím se solankou, které slouží jako výparník. Tepelné čerpadlo přemění teplotu až na 65-70 °C. Dochází k výrobě tepla 2400 MWh ročně při splnění podmínky minimálního průtoku 720 m³/h. [17]



Obr.8 vlevo – Výměník tepla před instalací na dno stoky, Obr.9 uprostřed – Výměník tepla během instalace na dno stoky, Obr.10 vpravo – Výměník tepla po instalaci na dno stoky [18]

2. Využití výměníků zabudovaných do stěny kanalizační stoky

Jak lze vidět na obr. 11 a 12, jedná se výměníky, které neovlivňují dimenzi stoky. Jsou zabudovány pod dno betonové stoky. Jejich životnost může být až 50 let. Platí, že čím je větší průměr stoky, tím je větší i přenos tepla.

Výhody:

- pro velké průtoky odpadních vod,
- neovlivňují dimenzi.

Nevýhody:

- nutno využít nové stoky, nelze budovat na stávajících systémech,
- nutno provádět kvalitní údržbu, nelze kontrolovat
- k systému musí být připojeno tepelné čerpadlo. [16]

Příklad aplikace:

Továrna Autobau Romanshorn má jediný zdroj energie pro vytápění a tím je odpadní voda. Tento zdroj je rovněž využit pro chlazení v letních měsících. Systém dokáže vyrobit až o 31 tun méně oxidu uhličitého v emisích. Délka výměníku zabudovaného do dna stoky je 36 m s průtokem 100 l/s. Výkon výměníku je 100 kW. [19]



Obr.11 vlevo – Výměník tepla zabudovaný do stěny stoky, Obr.12 vpravo– Výměník tepla zabudovaný do žlabu [19]

3. Využití kanalizační stoky se speciálním dvojím opláštěním

Systémy s dvojím opláštěním jsou vhodné jak pro gravitační, tak i pro tlakové systémy. Jedná se o systém, jehož základem je ocelové potrubí, přes jehož stěnu dochází k přestupu tepla. Na stěně tohoto potrubí se z boku (v případě gravitační kanalizace na obrázku 13), popř. z vrchní strany (v případě tlakové kanalizace na obrázku 14) potrubí nachází distribuční síť nerezových potrubí. Tato potrubí jsou zabudována do izolace

z PUR k maximálnímu zefektivnění přestupu tepla. Svrchní plášť tvoří potrubí z PE. Platí, že čím je větší průtok, tím větší zisk energie.

Výhody:

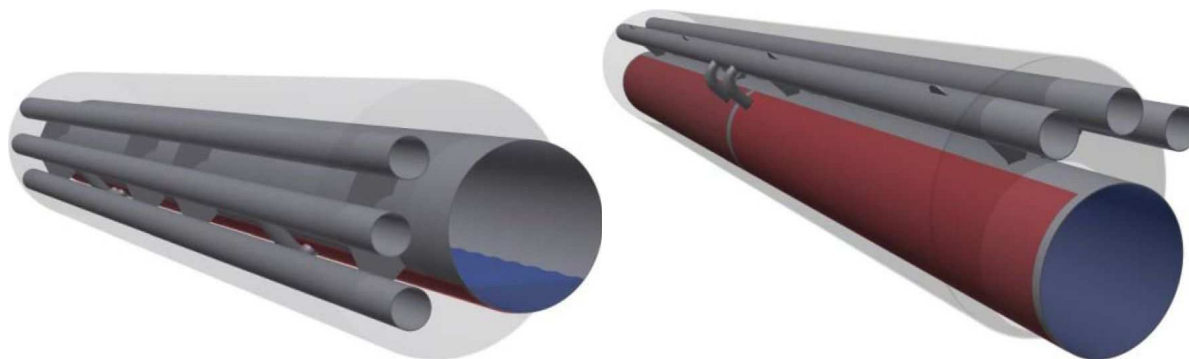
- jak pro gravitační, tak i pro tlakové systémy,
- efektivní přenos tepla.

Nevýhody:

- nutné vybudování nové stoky, nelze využít na stávajících systémech,
- nutná kvalitní údržba,
- k systému musí být připojeno tepelné čerpadlo. [16]

Příklad aplikace:

V Berlíně je prodejna IKEA vytápěna a klimatizována díky tepelnému využití odpadních vod. Instalace pokrývá 70 % potřeb k vytápění a 100 % potřeb k chlazení. Emise skleníkových plynů díky tomu poklesly o 770 tun ročně. Vnitřní průměr stoky je 1000 mm. Délka potrubí s výměníkem s dvojitým opláštěním činí 204 m. Jedná se o kanalizaci v tlakovém režimu. Průtok odpadních vod se pohybuje mezi 500 – 1300 m³/h. Tři tepelné čerpadla vyrábějí až 1500 kW tepla k pokrytí vytápění a až 1200 kW k chlazení. Voda je ochlazená o 1,6 °C. [20]



Obr.13 vlevo – Výměník tepla s dvojitým opláštěním – gravitační proudění,

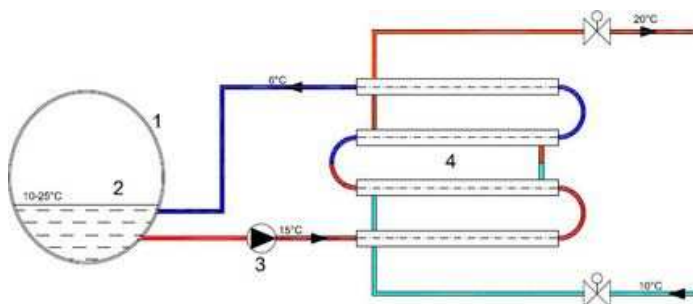
Obr.14 vpravo – Výměník tepla s dvojitým opláštěním – tlakové proudění [16]

4. Využití ocelového výměníku ze dvou potrubí na obtoku

Tento systém se nenachází přímo na kanalizační stoce, nýbrž v jeho těsné blízkosti na obtoku. Jedná se o dvě potrubí, kde ve vnitřním prostoru proudí odpadní voda a v prostoru mezi vnitřním a vnějším pláštěm ho obtéká voda studená (viz obrázek 17). Takový výměník je vhodný pro šedou i černou vodu. Jako materiál se využívá především ocel, což je vidět na obrázku 18.

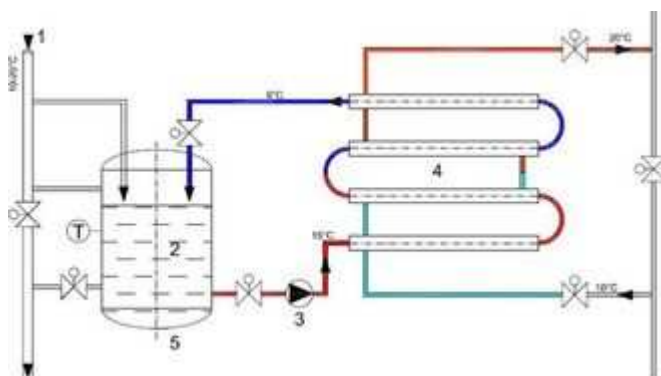
Existují dvě varianty zapojení:

A. Na přímo



Obr.15 – Varianta zapojení ocelového výměníku ze dvou potrubí na přímo:
1 – kanalizační potrubí, 2 – odpadní voda, 3 – oběhové čerpadlo, 4 – ocelový výměník ze dvou potrubí [21]

B. Přes jímku



Obr. 16 – Varianta zapojení ocelového výměníku ze dvou potrubí přes jímku:
1 – kanalizační potrubí, 2 – odpadní voda, 3 – oběhové čerpadlo, 4 – ocelový výměník ze dvou potrubí, 5 – jímka [21]

Výhody:

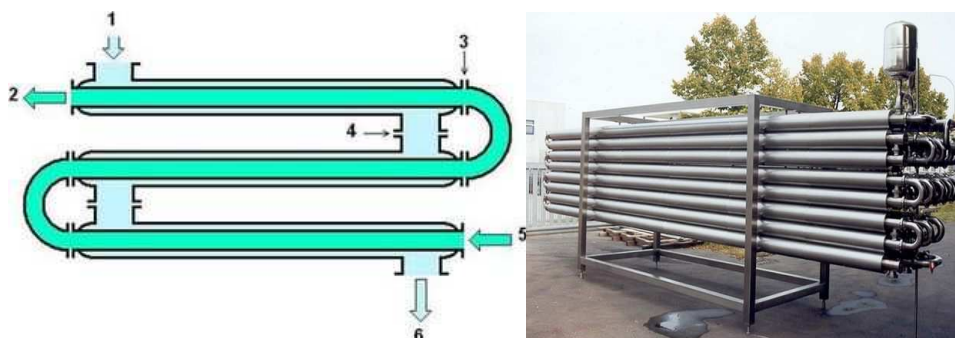
- pro šedou i černou vodu,
- lze budovat na stávajících systémech,
- není potřeba využívat tepelné čerpadlo,
- jednoduchá údržba.

Nevýhody:

- prostorová náročnost,
- nevhodné pro velké průtoky. [16]

Příklad aplikace:

Ve městě Gabelbach u Bernu dochází k výměně tepla uprostřed hlavního výtlačku do kanalizační stoky, která se nachází na kopci. Ocelové výměníky ze dvou potrubí na obtoku jsou nainstalovány společně s tepelnými čerpadly v technické místnosti a zásobují teplem místní bydlení pro rodiny. Potrubí pro odpadní vodu mají stejný průměr jako potrubí pro vodovod. Koeficient přestupu tepla je bez biofilmu $800 \text{ W/m}^2/\text{K}$, po zanesení biofilmem $350 \text{ W/m}^2/\text{K}$, po čištění $650 \text{ W/m}^2/\text{K}$. [21]



Obr.17 vlevo – Schéma ocelového výměníku ze dvou potrubí: 1 – přítok studené vody, 2 – odpadní vody, 3,4 – příruby, 5 – přítok odpadní vody, 6 – odtok ohřáté vody,

Obr.18 vpravo – Příklad ocelového výměníku ze dvou potrubí [16]

2.4.3 REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY PŘED/ZA ČOV

Na ČOV lze aplikovat rekuperaci tepla jak na přítoku, tak na odtoku. Na přítoku je využíváno stejných systémů jako u výměníků na kanalizačních stokách. Na odtoku z biologické stabilizace využívající anaerobního vyhnívání lze rovněž s úspěšností využít výměníky. ČOV využívající tento způsob stabilizace jsou velkými spotřebiteli elektrické energie. Čím více se v dnešní době pozoruje růst ceny elektrické energie a její spotřeba, začíná se čím dál tím více využívat tepelných výměníků k zmenšení spotřeby elektrické energie a optimalizaci provozu. Nejčastěji jsou využívány tepelné výměníky spirálové a deskové, v praxi se ale objevují i ocelové výměníky ze dvou potrubí, popř. modulární výměníky, které jsou rozebrány výše resp. níže v textu.

1. Spirálové tepelné výměníky

Ve spirálových tepelných výměnících proti sobě proudí teplá a studená média. Každý výměník je sestava dvou dlouhých kovových pásů obalených okolo vřetena tvořící dvojici samostatných kanálů. Okraje těchto kanálů jsou přivařeny, aby každá kapalina protékala vlastním kanálem. Kontaminace je v případě využití takových výměníků vyloučena. Rozestup kanálů je zajištěn za pomoci těsnící lišty namontované na přivařené konce kanálů a distanční čepy, které určují vzdálenost mezi kapalinami. Rozestup se pohybuje od $1/4''$ do $1 \frac{1}{4}''$.

Distanční čepy znamenají překážku v průtoku, proto se objevují i instalace, kde nejsou využity (např. při průtoku kalu). Srovnání lze vidět na obrázcích 19 a 20. Šířka kanálu se pohybuje mezi 9" až 96" v závislosti na tlakových a teplotních požadavcích. Na každé jednotce jsou z obou stran kryty. Jednotky jsou vyráběny z uhlíkové oceli a nerez. Jednotky dokáží snést tlak až 10 barů a teplotu přes 400 °C.

Spirálové výměníky tepla se využívají jako tepelný zdroj pro vyhřívací nádrže. Aby proběhlo mezofilní vyhřívání, musí se teplota pohybovat okolo 35 °C. Horká voda ohřívá vyhříváný kal, který cirkuluje v spirálovém výměníku tepla, než je vrácen zpět do vyhřívací nádrže. U návrhu spirálového výměníku musíme vzít v potaz:

- A. Ztráty tepla skrz zdi, dno či střechu vyhřívací nádrže
- B. Teplotu potřebnou na vyhřátí surového kalu na požadovanou teplotu
- C. Tepelný příspěvek z vyhřívání

Dále mohou být spirálové výměníky využity pro předehřívání surového kalu. Jak je uvedeno výše surový kal je nutné dostat na vyhřívací teplotu. K tomu rovněž může sloužit spirálový výměník tepla. Během roku dochází ke kolísání teplot surového kalu. V zimě může klesnout jeho teplota k 5 °C. Využití tepla z vyhřívací nádrže, ze které vytéká odpadní voda o teplotě přibližně 35 °C, k ohřátí surového kalu může výrazně ovlivnit velikost nádrže a provozní náklady na ohřívání vyhřívací nádrže.

Výhody:

- dostatečný prostor pro průtok kalu,
- kapaliny tečou „proti sobě“, což zaručuje optimální tepelné využití,
- jednoduchá údržba či kontrola,
- malá zastavěná plocha,
- spirálový design zajišťuje turbulentní proudění, které předchází ucpání systému.

Nevýhody:

- vysoké investiční náklady,
- tlakový limit,
- průtočný limit. [22]

Příklad aplikace:

Dánská společnost Lemvig Biogas nainstalovala již v roce 1992 spirálové výměníky tepla. Ty získávají teplo z vyhnílého kalu. Výměníky tepla jsou navrženy pro použití s kalem na obou stranách. Výměníky umožňují snadné otevření kvůli kontrole a údržbě. Tím je tak vyřešena

hlavní překážka při použití kalu, a to zbytky písku, plastů či struvitu, které se čištěním kyselinami dají snadno odstranit. Po 11 letech došlo k nahrazení novými spirálovými výměníky a v roce 2010 došlo k navýšení kapacity o dalších 45 %. [23]



Obr. 19 a 20 – Spirálové tepelné výměníky s distančními čepy/bez distančních čepů [24]

2. Deskové výměníky

Deskové výměníky se skládají z řady tenkých vlněných desek zavěšených na nosné tyči sevřených mezi hlavní pohyblivé a pevné desky. Vlněné desky neboli desky pro výměnu tepla jsou z nerez. Každá vlněná deska je opatřena elastomerním těsněním, které slouží k utěsnění a částečně k distribuci kapalin. Vstup kapalin k vlněným deskám je zajištěn pomocí přípojek v pevných nebo pohyblivých hlavních deskách. Mezery mezi vlněnými deskami tvoří jednotlivé kanály pro proudění kapalin. Horké a studené médium je stejně jako u spirálových výměníků tepla distribuováno v protiproudém uspořádání pro maximální tepelnou využitelnost. Dvě sousední desky tvoří trojrozměrný systém, který je klíčem k vysoké účinnosti celého systému. Trojrozměrný systém vyvolává turbulenci při velmi nízkých Reynoldsových číslech, což má v kombinaci s malými průměry instalovaných potrubí za následek velmi velké hodnoty prostupu tepla. Délka desky je poměrně krátká, proto jde poměrně snadno dosáhnout optimalizace tlakových požadavků. Vlněné desky jsou zpravidla konfigurovány jako jednokanálové. Pro zvýšení tepelné účinnosti lze nainstalovat systémy vícekanálové. Systém dokáže snést tlak až 17 barů a teplotu 180°C. Celý systém je ukázán na obrázku 21.

Ve vyhnívacích nádržích dochází k tvorbě metanu. Ten může být stlačen a znovu vháněn pomocí vodokružných vývěv zpátky do vyhnívací nádrže. Stlačený plyn probublává kal a napomáhá tak míchání. Při stlačování dochází k zahřívání těsnící vody, která musí být zchlazována. K takové aplikaci se hodí využít deskový výměník tepla. Další aplikace, kde se dá využít deskových výměníků je chlazení motorů. V tomto případě je teplá voda využita ve vyhnívacích nádržích a studená pro chlazení.

Výhody:

- maximální tepelné využití,
- jednoduchá údržba či kontrola,
- malá zastavěná plocha,
- malé provozní náklady,
- systém se neucpává,
- jednotku lze v budoucnosti rozšířit pro zvýšené potřeby tepla.

Nevýhody:

- vysoké investiční náklady,
- pokles tlaku. [22]

Příklad aplikace:

Tento typ výměníku je využit na čistírnu odpadních vod v papírenském průmyslu v závodě ve Schwarzenbergu. Papírna zvyšovala kapacitu, teplota procesní vody se pohybovala okolo 55 °C, což je příliš pro biologické čištění odpadních vody. Naopak teplota vstupní vody byla v zimě pouhých 5 °C. Byly nainstalovány dva deskové výměníky pro teplotní výměnu obou médií s celkovým výkonem 1 MW. Průtok odpadní vody činí 65 m³/h a průtok chladicí vody 55 m³/h. [25]



Obr.21 – Deskové tepelné výměníky [26]

2.5 ZPŮSOBY VÝROBY TEPLA Z ODPADNÍ VODY TEPELNÝM ČERPADLEM

Zatímco zisk tepelné energie je zajištěn za pomoci výměníků, o zpracování a dodání tepla do samotného objektu se ve většině případů stará tepelné čerpadlo. Lze rozdělit tři různé způsoby výroby tepla (obrázek 22):

1. Monovalentní výroba – výroba tepla pouze tepelným čerpadlem

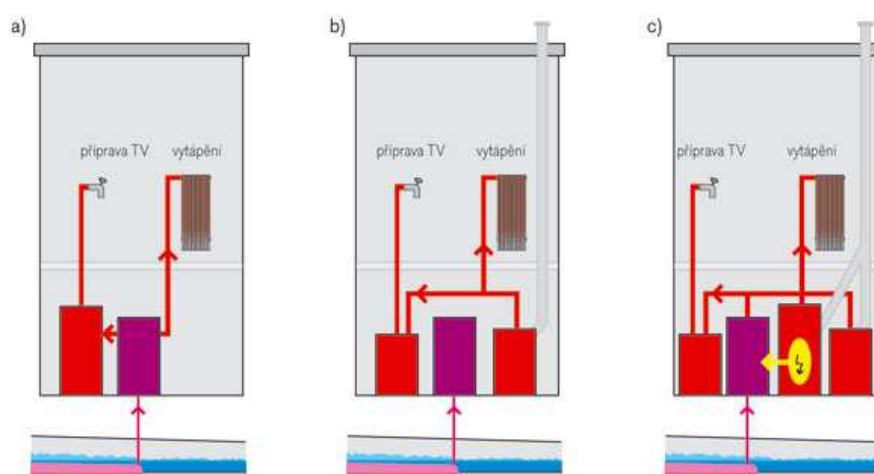
Jedná se o využití pouze tepelného čerpadla s vyloučením použití fosilních zdrojů. K takovému systému je potřeba velké množství odpadních vod. Pokud je využito více druhů systémů vytápění v budově, lze použít dvou až čtyř kompresorové agregáty, popř. zapojit paralelně více tepelných čerpadel.

2. Bivalentní výroba – kombinace výroby tepla tepelným čerpadlem a kotle

Nejčastější varianta, kdy základní zdroj pro výrobu tepla tvoří tepelné čerpadlo doplněné o kotel pro pokrytí odběrových špiček. Kotel je záložní zdroj, který při výpadku odběru tepla z kanalizace, nahradí základní zdroj, tedy tepelné čerpadlo. Při normálním provozu je kotel využit pouze při odběrových špičkách. Tento způsob je levnější než monovalentní výroba.

3. Multivalentní výroba – kombinace výroby tepla tepelným čerpadlem a blokové tepelné elektrárny

V případě, že je požadavek na větší odběry tepla, lze využít kombinaci výroby tepla tepelným čerpadlem a blokové tepelné elektrárny, která vyrábí teplo na vytápění a elektrickou energii pro tepelné čerpadlo. Místo odpadní vody lze využít i jiné zdroje energie (podzemní voda, teplo z chladících zařízení, teplo z technologie ad.). [27]



Obr.22 – Způsoby výroby tepla z odpadní vody tepelným čerpadlem a) Monovalentní výroba tepla b) Bivalentní výroba tepla c) Multivalentní výroba tepla [27]

3 REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY NA OBTOKU Z KANALIZAČNÍ STOKY S VYUŽITÍM MODULÁRNÍCH VÝMĚNÍKŮ

3.1 POPIS SYSTÉMU

Z hlavní kanalizační stoky je přepojena velká část průtoku, která míří do čerpací jímky. Nejprve je nutné surovou odpadní vodu předčistit, z prostorových důvodů se nabízejí především dvě možnosti a to automaticky čištěné síta a drtiče. Přes běžnou čerpací jímku je odpadní voda čerpána do modulárních výměníků, kde dochází k přestupu tepla na teplonosné médium, zpravidla vodu. Tepelný výkon systému navyšuje tepelné čerpadlo. Odpadní voda odtéká zpět se shrabkami do kanalizační stoky.

Výhody:

- maximální tepelné využití,
- jednoduchá údržba či kontrola,
- systém se neucpává,

Nevýhody:

- investiční náklady,
- pokles tlaku,
- provozní náklady,
- prostorová náročnost.

3.2 ČÁSTI SYSTÉMU

3.2.1 POTRUBÍ

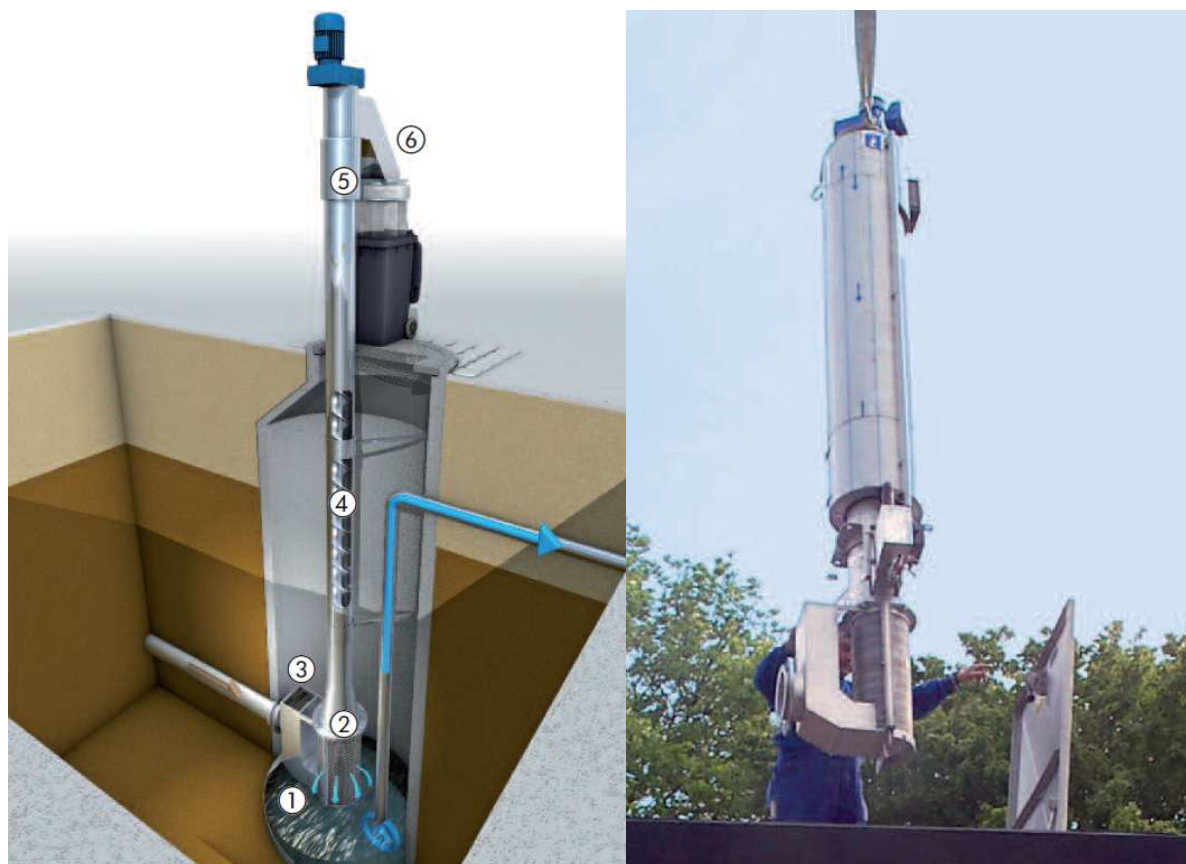
Hlavním úkolem při napojování potrubí na kanalizační stoku je umístění nátoku. Při umístění nátoku u dna dochází k nátoku veškerých pevných částic do výměníku. Při umístění u průměrné hladiny může docházet u minimálních průtoků k nedostatečnému nátoku na výměník. U odtokového potrubí je ideální využít možnost umístění nad maximální hladinu. Využití rekuperace tepla z odpadní vody na obtoku není vhodné, pokud přívodní a odtokové potrubí je příliš dlouhé, v tom případě je potřeba zvážit jiné možnosti.

3.2.2 MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ

Návrh mechanického předčištění u systémů získávajících teplo z kanalizačních stok je většinou omezen tím, že se jedná o instalace do potrubí, nikoli do kanálu. Systémy mechanického předčištění by měly být čištěny automaticky. Při návrhu je třeba vzít v úvahu, že se jedná o surovou odpadní vodu, mohou se v ní vyskytovat nečistoty a plovoucí předměty, které mohou systém ucpat.

SÍTA

Při využití kanálové šachty jako prvku pro akumulaci odpadní vody, lze využít automaticky čištěného síta s vertikálním odstraňováním, odvodňováním a zhutňováním shrabků. Shrabky jsou poté předány do připraveného kontejneru jako na obrázku 23, popelnice nebo jiné nádoby pro odvoz odpadu. Tato zařízení se skládají z perforovaného koše a kalového šnekového dopravníku ve vertikální rouře. Perforovaný koš slouží jako prvek hrubého předčištění a zachytávají se v něm pevné částice a jiné nečistoty. Je čištěn za pomoci kartáče, který je nainstalován na rotačním šneku, který shrabky odvodní, zhutní a přesune do připraveného objektu. Na obrázku 24 lze vidět instalaci Huber Rok4.[26]



Obr.23 vlevo – Huber mechanické předčištění Rok4 (1-přítok,2-síto,3-bezpečnostní přeliv,4-šnekový dopravník,5-lis,6-kontejner), Obr. 24 vpravo – Instalace Huber Rok4 [26]

DRTIČE

Při gravitačním nátoku i při čerpání odpadních vod do výměníku je třeba zamezit přímému vniku jakýkoliv hrubých nečistot. Jedním z možných způsobů pro jejich odstranění je využití drtičů. Za pomoci drtících nožů (obrázek 28) jsou v odpadní vodě rozdraceny pevné látky např. dřevo, plasty, textile. Tímto způsobem chráníme čerpadla před poškozením, či výměníky před ucpáním. Tato zařízení lze snadno aplikovat na potrubní i kanálové aplikace. Drtiče lze rozdělit na jednohřídelové, dvouhřídelové a macerátory. Drtiče jsou zapojovány do čerpací jímky (obrázek 25), do kanálu či přímo na potrubí (obrázek 26 a 27). [28]

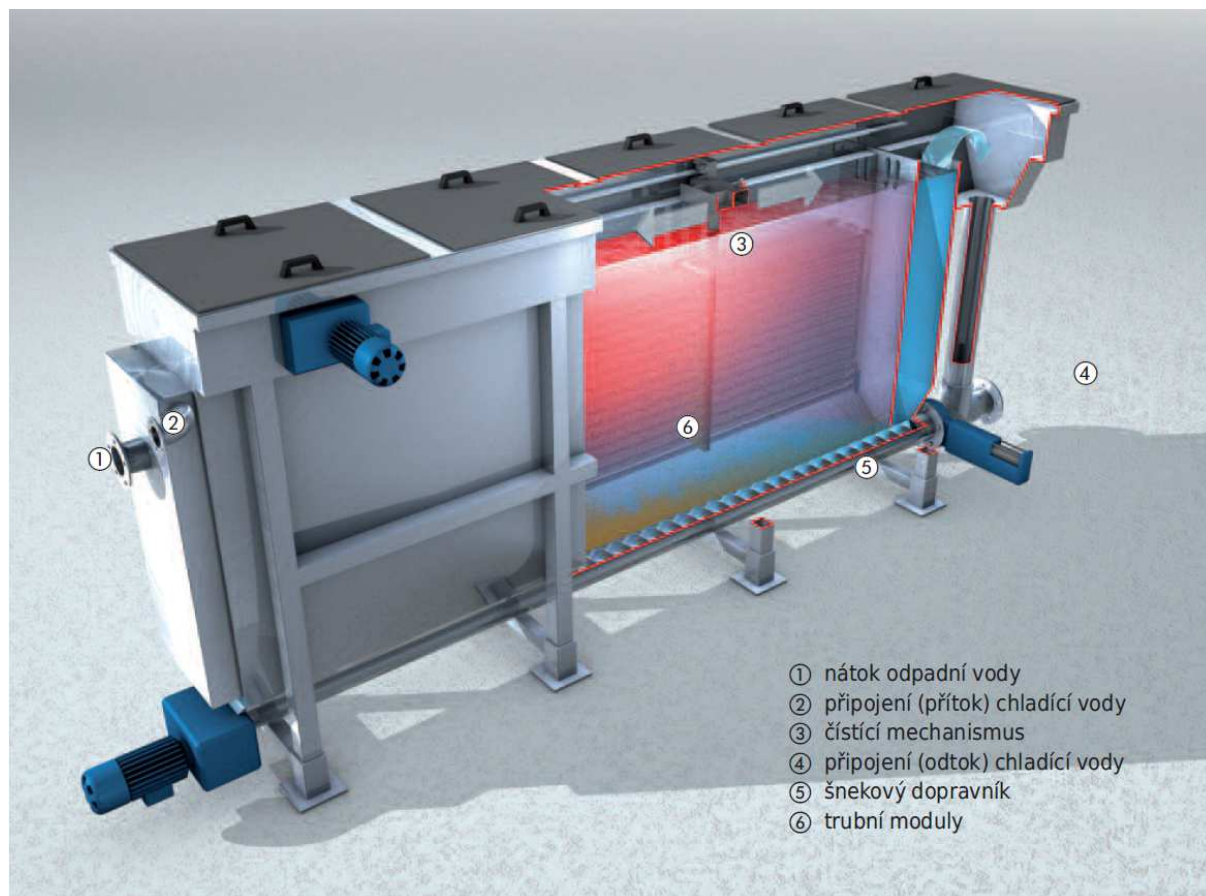


Obr.25 vlevo – Drtič – zapojení v čerpací jímce, Obr. 26 a 27 vlevo a vpravo uprostřed – potrubní zapojení, Obr. 28 vpravo – Drtící nože [28]

3.2.3 MODULÁRNÍ TEPELNÝ VÝMĚNÍK

HUBER RoWin

Jedná se o modulární výměník vyrobený z nerezové oceli, která zajišťuje maximální přestup tepla. Celá jednotka je zatěsněná, nedochází k šíření zápachu. Potrubní moduly, v nichž dochází k přestupu tepla, jsou horizontálně paralelně uspořádány. Do těchto modulů se dostává pouze odpadní voda mechanicky předčištěná. Díky protiproudému uspořádání dochází k maximálnímu využití tepla. Médium, kterému je předáváno teplo, je zpravidla voda, která proudí k tepelnému čerpadlu. Stejně jako u ostatních výměníků se tvoří na modulech biofilm, ten je pomocí automatického mechanismu čištěn a s ostatními nežádoucími látkami je ze dna odváděn šnekovým dopravníkem, společně s ochlazenou odpadní vodou, zpět do stoky. Díky tomu může být menší četnost údržby. Tepelný výměník je schematicky popsán na obrázku 29. [26]



Obr.29 – Tepelný výměník Rowin [26]

Výměníky RoWin jsou využitelné v několika oblastech:

- na kanalizační stoce (Huber ThermWin),
- na přítoku či odtoku z ČOV,
- filtrát z kalového hospodářství,
- v průmyslu.

Huber Thermwin je systém na obtoku z kanalizační stoky viz obrázek 30. V kanalizační šachtě dochází k akumulaci odpadních vod a zároveň k jejich mechanického předčištění. Odpadní voda je dále čerpána do výměníku Huber RoWin, kde za pomoci modulů dochází k přestupu tepla do vody, která přenáší tepelnou energii do tepelného čerpadla. Ochlazená odpadní voda odtéká zpět do stoky společně se shrabkami z předčištění. Systémy Huber vyžadují průtok cca 5 l/s a teplotu vody nad 10°C. Minimální tepelný výkon je potom 20 kW. [26]

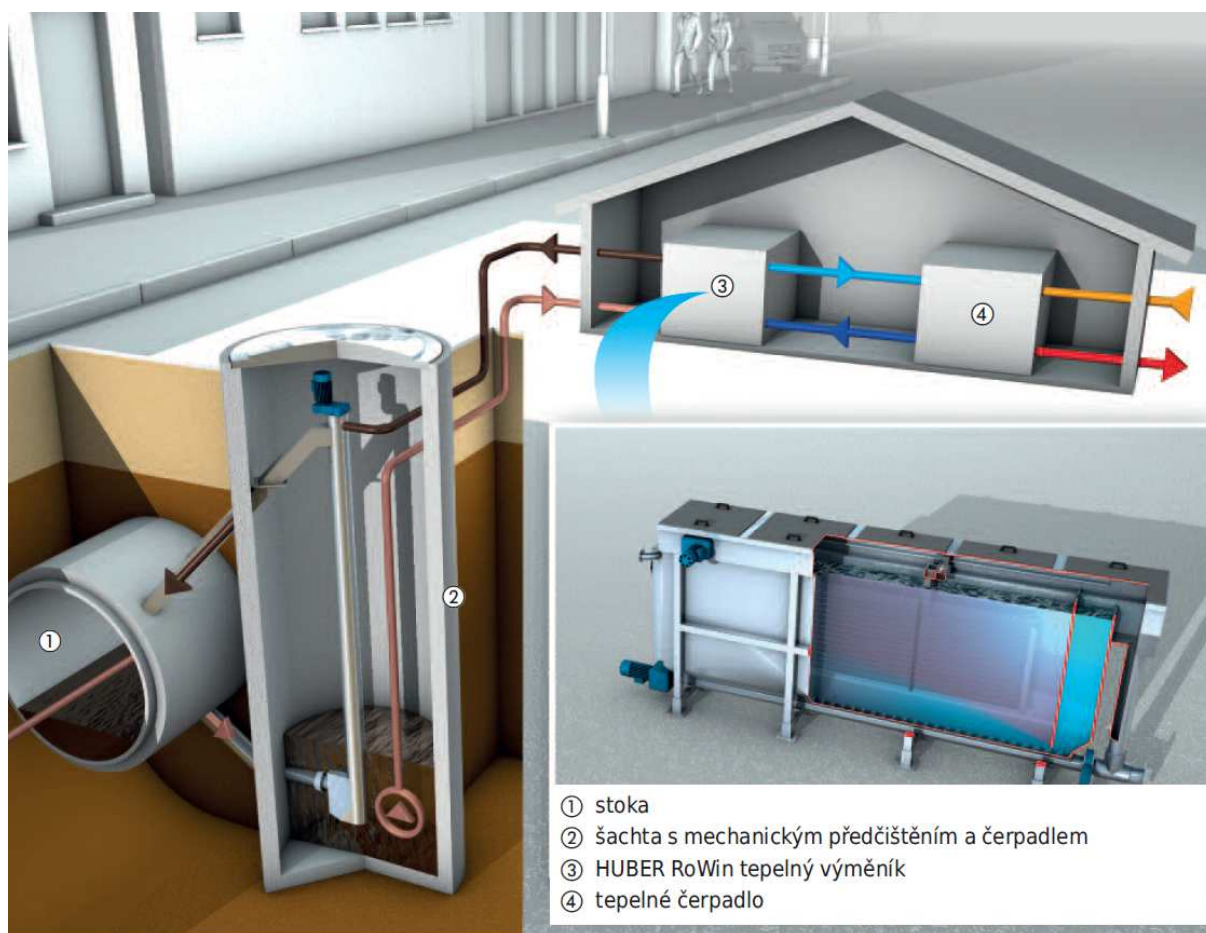
Příklady aplikace:

1. Vytápění výškové budovy Wintower ve Winterthuru

Výšková budova Wintower o celkové ploše 22 000 m² se rozkládá na 22. podlažích. Tento objekt je vytápěn i chlazen systémem Huber Thermwin. Ve sklepě jsou zde nainstalovány 2 tepelné výměníky RoWin, do kterých průměrně teče 50 l/s. Celková výroba tepla tepelnými čerpadly činí 600 kW. V této lokalitě je zvláště efektivní energeticky využívat odpadní vodu, protože průměrná teplota odpadní vody je okolo 20 °C. [26]

2. Využití tepla z odpadní vody v termálních lázních Burgerbad v Leukerbadu

Burgerbad jsou největší alpské termální lázně v celé Evropě. V nadmořské výšce 1400 m n.m. je 10 termálních bazénů neustále zásobováno 50 °C termální vodou. Konstantní odtok 8 l/s z bazénů nabývá teplot okolo 30 °C. Výměníky tepla RoWin jsou v tomto případě nainstalovány v kanále a odpadní voda z bazénu jimi protéká bez předčištění. Takovým způsobem získává zařízení teplo o hodnotě 780 kW. [26]



Obr.30 – Systém Huber ThermWin [26]

Tepelný výměník DDI

Firma DDI nabízí modulární obdélníkový výměník s širokými mezerami pro průtok odpadní vody. Do výměníku bývá přidávána další deska, která oddělí odpadní vodu od teplotnosné vody. U těchto výměníků nedochází k ucpávání, díky mezerám širokým téměř 5 cm. Šířka mezer je měnitelná, tedy pokud je potřeba výměník vyčistit od biofilmu, zúží se mezery a zrychlí průtok ve výměnících. Výměník je snadno dostupný z obou stran, je snadno čistitelný. Otevřený výměník lze vidět na obrázku 31. Tyto výměníky nabízí velkou plochu pro přestup tepla, ačkoliv zabírají poměrně málo místa. Není třeba využít drtič. [29]

Příklad aplikace:

Firma DDI testuje výměníky již přes 10 let a soustředí se na instalaci výměníku nejen do kanalizačních stok, ale i na ČOV. Jedním z úspěšných projektů je např. instalace dvou výměníků DDI na čistírnu odpadních vod ve Waterloo. Tyto výměníky jsou schopny vyrobít až 1500 kW každý. [29]



Obr.31 – Tepelný výměník DDI [29]

Tepelný výměník SHARC

Firma International Wastewater Systems dodává na trh produkt SHARC, což není pouze samotný výměník, ale celý systém od napojení na stoku až po tepelné čerpadlo, viz obrázek 33. Odpadní voda je nejprve zbavena hrubého znečištění a suspendovaných látek v mokré jímce na česlích. Takto vyčištěná odpadní voda dále pokračuje na samotný výměník, kde odevzdá teplo a teče zpět k shrabkům, s nimiž společně putuje zpět do stoky. Jedná se o modulární systém, plně automatický, dodávaný s kontrolním systémem. Na dotykovém displeji je možné zajistit monitoring systému (teplota, tlak, čerpané množství, spotřeba elektrické energie, aj.), jeho kontrolu a optimalizaci. [30]

Příklady aplikace:

První úspěšnou instalací byla oblast šedesáti bytových domů v oblasti Severního Vancouveru. Zde se jednalo o aplikaci kdy systém SHARC rekuperuje teplo ze surové odpadní vody ještě předtím, než se dostane do veřejné stokové sítě. Průměrná spotřeba jednoho bytového domu činila 950 l/den s teplotou okolo 20 °C. [30]

Dalším úspěšným projektem bylo vytápění divadla Gateway v Richmondu v Britské Kolumbii. Jedná o se o budovu s výměrou téměř 50 000 m². Tento projekt byl součástí programu redukce emisí o 50 tun za rok. Navržený systém čítá 29 tepelných čerpadel, dále bojlerů a chladicí věže. Při návrhovém průtoku 57 m³/hod dochází k zisku tepla o hodnotě 293 kW. Největší SHARC instalací doposud je 172 bytový komplex. Dochází zde k ohřevu TUV a k podlahovému vytápění. Systém generuje teplo o hodnotě 64 kW. Dochází k redukcí emisí až o 100 tun ročně, přičemž systém pracuje s 80% účinností.[30]



Obr.33 – Systém SHARC [30]

3.2.4 TEPELNÉ ČERPADLO

Tepelná čerpadla jsou považována za jeden z alternativních zdrojů obnovitelné energie. Jedná se o zařízení, které odnímá teplo z vnějšího prostředí (země, voda, vzduch, odpadní voda aj.), ohřívá ho za pomoci komprese a expanze a získané teplo využívá pro vytápění a ohřev teplé vody. Principu tepelného čerpadla položil základ Lord Kelvin v roce 1852 ve své druhé větě termodynamické aneb tvrzení, že teplo se vždy šíří od teplého ke studenému. Tepelné čerpadlo jako první sestrojil Robert C. Weber. Při pokusu s mražením ho napadlo postup obrátit a následně jako první sestrojil tepelné čerpadlo získávající teplo z geotermální energie. [31]

PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA

Tepelné čerpadlo pracuje podobně jako lednička. Zatímco lednička odebírá teplo z vnitřního prostoru a vypouští ho zadní stranou ven, u tepelného čerpadla je to přesně naopak. To nasaje teplo z okolního prostředí, které využije k odpaření nemrznoucí kapaliny. Poté dochází ke kompresi páry, následnému uvolnění tepla a předání tepla topnému systému. Tepelné čerpadlo je rozděleno do dvou částí, primárního a sekundárního okruhu. Primární okruh je tepelné čerpadlo, sekundární okruh je topný systém.

Koloběh tepelného čerpadla (obrázek 34):

- Vypařování (pracovním prvkem je výparník)

Základem je vypařování nemrznoucí směsi. Na výparníku dochází k výměně tepla mezi nemrznoucí směsí a prvkem vnějšího prostředí. Zatímco nemrznoucí směs se vypaří, zdroj tepla se ochladí. Výhodou je, že k vypařování dochází i při velmi nízkých teplotách.

- Komprese (pracovním prvkem je kompresor)

V předchozím ději došlo k přeměně skupenství nemrznoucí směsi z kapalné na plynné. V kompresoru dochází ke stlačení plynu. Při vyšším tlaku roste i teplota. Z poměrně nízkých teplot se tak médium dostává na teploty okolo 80 °C. K tomuto ději je zapotřebí elektrická nebo jiná energie.

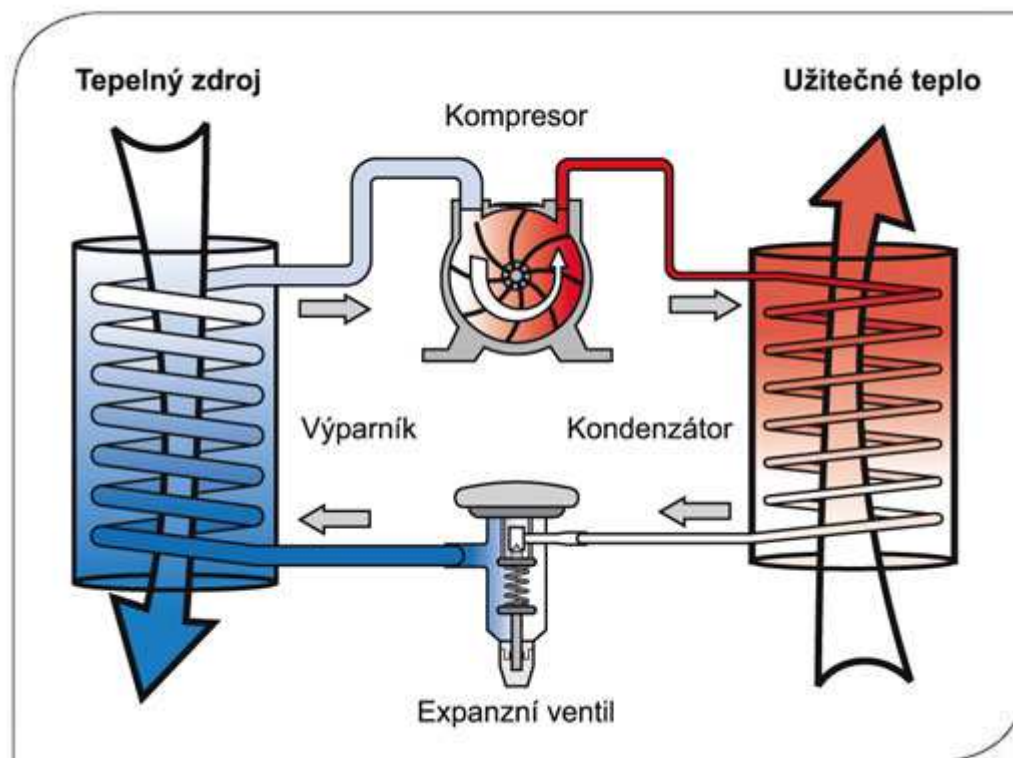
- Kondenzace (pracovním prvkem je kondenzátor)

V kondenzátoru dochází ke zkapalnění nemrznoucí směsi. Odevzdané teplo z procesu míří do topné soustavy, ohřevu vody v bojleru či bazénu.

- Expanze (pracovním prvkem je expanzní ventil)

Posledním prvkem systému je expanzní ventil. Zde dochází k prudkému ochlazení za nízkého tlaku a kapalina je opět předána do výparníku (koloběh tepelného čerpadla).

[31]



Obr.34 – Princip tepelného čerpadla [21]

PARAMETRY TEPELNÝCH ČERPADEL

Základním parametrem tepelných čerpadel je topný faktor. Čím je hodnota topného faktoru vyšší, tím je tepelné čerpadlo účinnější. Je to poměr výkonu kondenzátoru a příkonu kompresoru v tepelném čerpadle neboli výrobou tepla a spotřebou elektrické energie. Hodnota topného faktoru se mění v čase. V praxi se hodnoty tepelného faktoru pohybují mezi 2 až 7, což znamená, že např. při topném faktoru 5 na 15 kW tepelné energie spotřebujeme 3 kW energie elektrické. [31]

VÝHODY TEPELNÉHO ČERPADLA

- Malá energetická náročnost. Při správném fungování dokáže ušetřit až 80 % nákladů.
- Krátká návratnost (i bez dotací se návratnost pohybuje mezi 3 až 8 lety).
- Energetická soběstačnost (menší závislost na elektrické energii).
- Malá energetická spotřeba (využití tepelného čerpadla snižuje celkovou spotřebu eklektické energie).
- Čistý, pohodlný, bezobslužný provoz (u novějších tepelných čerpadel se vyskytují systémy ovládání pomocí internetu či mobilu). [31]

TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL

Typy tepelných čerpadel jsou zpravidla uváděny za názvem a jsou odděleny lomítkem. První výraz znamená, odkud tepelné čerpadlo bere energii, druhý výraz značí, jakým způsobem ji dodává. Základními typy tepelných čerpadel jsou:

1. Tepelné čerpadlo typu země/voda

Jedná se o velmi stabilní systém, jelikož se teplota zdroje takřka nemění. Pracuje tiše a s dlouhou životností. Bývá provozován v bivalentním režimu a při nižších teplotách v zimě je vytápění podporováno jiným zdrojem tepla. Využívají se dva způsoby instalací: uložení v zemních/horizontálních kolektorech (na 1 kW výkonu je potřeba cca 30 m² pozemku) nebo v geotermálních/vertikálních vrtech (na 1 kW výkonu je potřeba cca 12 m vrtu). Oba jsou finančně velmi náročné, zemní kolektory i plošně náročné. Geotermální vrt lze v letních měsících využívat ke chlazení. Principem těchto čerpadel je, že chladicí médium proudí skrz dlouhé potrubí a ohřívá se o pár teplotních stupňů. [32]

2. Tepelné čerpadlo typu vzduch/voda

Tato čerpadla dokáží efektivně vyrábět teplo až do -20 °C. Oproti ostatním zdrojům jsou tyto systémy opatřeny ventilátorem. Ventilátor společně s výparníkem tvoří tzv. vnější jednotku, zatímco vnitřní jednotku tvoří zbylé prvky tepelného čerpadla. Zásadní je, aby se ochlazený vzduch nevracel zpátky do ventilátoru. Tyto systémy patří k nejlevnějším a dají se jednoduše nainstalovat. Oproti ostatním systémům jsou však hlučnější a při velmi silných mrazech nevyrábějí dostatečné množství tepla. [32]

3. Tepelné čerpadlo typu vzduch/vzduch

Je to variace předchozího typu. Na rozdíl o něj však ohřívají vzduch přímo ve vyhřívaném objektu. Pokud se jedná o jedinou vnitřní jednotku, dokáží efektivně vytopit pouze místnost, ve které se nachází. V případě že je rozmístěno po objektu více vnitřních jednotek, dostává se teplo do jednotlivých pokojů snadněji. [33]

4. Tepelné čerpadlo typu voda/voda

Zdrojem tepla v tomto případě může být voda povrchová, podzemní či odpadní. Pokud je voda odebírána a čerpána přímo do výparníku, musí projít chemickým atestem. Voda je po odebrání části tepla navracena zpět. Při využití odpadní vody dochází k ohřátí čisté vody ve výměníku a ta poté přenáší tepelnou energii do tepelného čerpadla. Ochlazená voda odtéká v tomto případě zpět do stoky. Obecně se dá říct, že systémy voda/voda jsou nejúčinnější a pokud je lze nainstalovat, tak se jim dává přednost. Změna teploty v případě odpadní či podzemní vody je velmi malá a jedná se tak o nejteplejší zdroje energie. Při čerpání vody ze studní je nutná vydatnost alespoň

0,5 l/s. Poměrně náročné je využití povrchových zdrojů. Výměníky se umísťují kvůli zamrznání pod dna nádrží nebo pod koryta řek. [31]

3.3 KRITÉRIA NÁVRHU

Při návrhu jakékoliv technologie využití energie odpadních vod je důležitý výběr lokality, která splňuje ideálně všechna kritéria, která budou dále zmíněna.

1. V blízkosti kanalizace.

Jde o klíčové kritérium. Maximální vzdálenost přístupového bodu je uváděno 2 bloky od vybrané lokality. Zdroj musí být přístupný pro instalaci i údržbu. Pokud toto kritérium není splněno, není systém využívající energie odpadních vod rentabilní. [34]

2. Systém vzduchotechniky

Před instalací systému rekuperace tepla z odpadní vody musí být vyhodnocen stav vzduchotechniky. Ideální je stav, kdy se jedná o novou výstavbu nebo se ve stávající budově nachází systém vzduchotechniky, který je třeba nahradit. V tomto případě rostou náklady na vzduchotechniku neohledně na typ systému, který je instalován. Za těchto okolností je systém využití energie z odpadních vod mnohem menší finanční zátěží. Pokud se však jedná o budovu bez vzduchotechniky nebo se jedná o systém vzduchotechniky, který majitel nemovitosti nechce měnit, stává se rekuperace tepla z odpadní vody těžko instalovatelným systémem. [34]

3. Celoroční vytápění a chlazení

V nejlepším případě je využito chladicí a topné zařízení po celý rok. Systémy rekuperace tepla fungují efektivněji jako chladicí zařízení. Lze je však rovněž využít pro topení či dokonce obě dvě funkce, kdy zařízení topí či chladí v závislosti na potřebách spotřebitele. Čím více je systém využíván, tím je spolehlivější a má větší návratnost. Pokud je systém málo využíván, může dojít k situaci, že návratnost je delší než životnost systému. [34]

4. Velké průtoky odpadních vod.

Průtok v kanalizačním systému, který bude využit pro rekuperaci tepla, musí být dostatečně velký na to, aby dokázalo topící či chladicí zařízení efektivně fungovat. Je zřejmé, že průtoky odpadních vod se liší jak v čase, tak i v závislosti na místě, kde se daná kanalizační stoka nachází. Musí být proveden výpočet potenciálu odpadní vody. [34]

5. Přístup k odpadní vodě skrze čerpací jímku či mokrou jímku bez čerpadel.

Při návrhu systému rekuperace tepla je třeba zvolit přístupový bod, přes který bude jednoduše a bezpečně dostupný systém rekuperace tepla z odpadní vody. Nejlepším řešením se zdá být mokrá čerpací jímka, která se jednoduše navrhuje a snadno

udržuje. Pokud se v síti vyskytuje mokrá čerpací jímka, může být přestavěna na systém rekuperace tepla z odpadní vody. Existují samozřejmě i jiná řešení, ale většina z nich je dražší a přístupově obtížnější. [34]

6. Dostatečné externí financování a dotace.

Jako každá investice musí mít systém rekuperace tepla z odpadní vody dostatečné externí financování a dotace. V nejlepším případě pokryje většinu nákladů grant či jiné externí financování. V tom případě vlastník platí jen menší část nákladů a doba návratnosti je kratší. [34]

7. Nahrazení nebo doplnění jiného zdroje energie s vyššími náklady.

Využití systému rekuperace tepla z odpadní vody je výhodné v případě, že nahrazuje či doplňuje zdroj s vysokými náklady jako např. topný olej. Potom dosáhnou systémy dobu návratnosti šetřením peněz po celou dobu. Čím je rozdíl nákladů na původní a na rekuperaci tepla z odpadní vody větší, tím se zkracuje doba návratnosti. [34]

8. Levnější cena elektřiny.

Toto kritérium se poměrně těžko plní. Některé z prvků systému rekuperace tepla z odpadní vody potřebují k chodu elektřinu včetně nejdůležitějšího prvku tepelného čerpadla. Cena elektřiny se odvíjí nejen od lokality, ale také od času dne. Čím je elektřina levnější, tím se zmenšují provozní náklady na systém a zkracuje doba návratnosti. [34]

9. Dostatečná teplota odpadních vod.

Teplota ve stoce musí být dostatečně vysoká či nízká pro instalaci, v ideálních mezích, aby mohl výměník efektivně fungovat. Pro topné zařízení se hodí co nejvyšší teplota, zatímco pro chladicí co nejnižší. Čím se teplota odpadní vody blíží k teplotě, kterou od systému vyžadujeme, tím méně elektrické energie je potřeba a tím pádem se zmenšují i provozní náklady. Je zřejmé, že teplota odpadní vody nesmí být příliš vysoká či nízká, protože by poté systém rekuperace tepla z odpadní vody nefungoval efektivně. [34]

10. Monitoring.

Vybraná lokalita by se měla nacházet na místě, kde byl prováděn dlouhodobý monitoring. Před každou instalací systému rekuperace tepla z odpadní vody je nutné nashromáždit data o dané části kanalizačního systému. Pokud nejsou žádná data k dispozici, je nutné provést monitoring, který zvýší počáteční náklady. [34]

3.4 NÁVRH

Množství využitelného tepla z odpadní vody:

Při určování množství využitelného tepla z odpadní vody je potřeba se zamyslet především nad hodnotou průtoku a teplotou odpadní vody. Čím je lepší monitoring těchto dvou hodnot, tím je návrh relevantnější. Pokud není k dispozici monitoring, probíhá měření za chladného počasí v podvečerních hodinách mezi 16. a 19. hodinou. Průtok mezi těmito hodinami lze považovat za denní průměrný průtok. [35]

$$Q_{VT} = c \cdot \rho \cdot Q_{WW} \cdot \Delta\theta \quad (W)$$

Q_{VT} = tepelný výkon výměníku tepla (W)

c = měrná tepelná kapacita odpadní vody (kJ/(kg.K)); při teplotách 0 až 20 °C se počítá s hodnotou 4,19

ρ = hustota odpadní vody (kg/l), při teplotě 0 až 20 °C se počítá s hodnotou 1,0

Q_{WW} = průtok odpadní vody (l/s)

$\Delta\theta$ = průměrný teplotní rozdíl (K); je třeba odhadnout (3K jsou považovány za vhodnou hodnotu) [35]

Množství tepla využitelné tepelným čerpadlem

Teplo, které dokáže vyrobit tepelné čerpadlo, nezávisí pouze na výměníku tepla, ale na topném faktoru čerpadla. Topný faktor se mění v čase a tím i množství vyrobeného tepla. [35]

$$Q_{TČ} = Q_{VT} \cdot (SPF / (SPF - 1)) \quad (W)$$

Pokud čerpadlo dimenzujeme:

$$Q_{TČ} = Q_{VT} \cdot (COP / (COP - 1)) \quad (W)$$

Q_{VT} = tepelný výkon výměníku tepla (W)

$Q_{TČ}$ = tepelný výkon tepelného čerpadla (W)

SPF = sezonní topný faktor tepelného čerpadla (—)

COP = okamžitý topný faktor tepelného čerpadla (—) [35]

Tepelný výkon výměníku

Na vzorci lze vidět, že tepelný výkon výměníku tepla roste s jeho plochou, součinitelem prostupu tepla materiálu (závisí na typu materiálu, tloušťce materiálu či druhu proudění ve výměníku) a teplotním rozdílem médií, ve kterých probíhá tepelná výměna. [35]

$$Q_{VT} = U \cdot A_{VT} \cdot \Delta\theta \quad (W)$$

Q_{VT} = tepelný výkon výměníku tepla (W)

U = součinitel prostupu tepla ($W/(m^2 \cdot K)$)

A_{VT} = účinná plocha výměníku tepla (m^2)

$\Delta\theta$ = průměrný teplotní rozdíl (K) [35]

Snížení teploty odpadní vody

Zpětně je vypočítáno snížení teploty odpadní vody. Čím více odpadní vody dodáme, tím je menší hodnota změny teploty. [35]

$$\Delta\theta = \frac{Q_{VT}}{c \cdot \rho \cdot Q_{ww}} \quad (K)$$

$\Delta\theta$ = pokles teploty (K); je třeba odhadnout

Q_{VT} = tepelný výkon výměníku tepla (W)

c = měrná tepelná kapacita odpadní vody ($kJ/(kg \cdot K)$); při teplotách 0 až 20 °C se počítá s hodnotou 4,19

ρ = hustota odpadní vody (kg/l), při teplotě 0 až 20 °C se počítá s hodnotou 1,0

Q_{ww} = průtok odpadní vody (l/s) [35]

4 NÁVRH VYTÁPĚNÍ POLYFUNKČNÍ BUDOVY NA KMENOVÉ STOCE VE MĚSTĚ BRNĚ

Tento návrh vznikl ve spolupráci se společnostmi Huber CS spol. s.r.o., LK PUMPSERVICE, TEPELNÁ ČERPADLA IVT s.r.o. a developerem projektu firmou HEROLDS, spol. s.r.o.

4.1 PODKLADY

- Výzkumná zpráva č. 12657089 z roku 2016 s názvem „Multifunkční centrum EDISON – posouzení využití tepla z odpadních vod, tepla z vrtů a využití šedých vod“. Zhotovitelem této zprávy bylo Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Centrum AdMaS. Hlavní řešitelem byl prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA (dipl. S.E. Delft). Spoluřešiteli byli Ing. Jakub Raček a Ing. Michal Úterský. [36]
- Projektová dokumentace pro DUR vytvořená firmou ARCHICON, s.r.o. v prosinci 2012. Hlavním inženýrem projektu byla Ing. Hana Jindrová. [37]
- Ortografická mapa ze serveru <http://mapy.cz/>
- Katastrální mapa ze serveru <http://nahlizenidokn.cuzk.cz/>
- Bezdeštné průtoky a teploty odpadní vody za měsíce únor, duben, srpen, říjen 2015 a schématický řez stokou DN 5100/2300 mm

4.2 POUŽITÉ PŘEDPISY

- ZÁKON 183/2006 Sb. ze dne 14. března 2006 o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) v aktuálním znění.
- ZÁKON 274/2001 Sb. ze dne 10. července 2001 o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (Zákon o vodovodech a kanalizacích) v aktuálním znění.
- Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. O vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu, ve znění vyhlášky č. 146/2004 Sb. a vyhlášky č. 515/2006 Sb.
- Nařízení vlády 23/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb.
- ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky.
- TNV 75 6911 Provozní řád kanalizace.

- ČSN 01 3463 Výkresy inženýrských staveb – výkresy kanalizace.

4.3 CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

Stavební pozemek se nachází v místní části města Brna, katastrálním území Zábrdovice mezi ulicemi Vlhká a Koliště. Jedná se o budoucí polyfunkční objekt s čtyřmi podzemními a deseti nadzemními podlažími. Odpadní voda ve stoce, která bude energeticky využívána, se nachází na ulici Vlhká.

ARCHICON s.r.o. vypracovala pro zájmový objekt architektonickou studii pro DUR. Konečná verze architektonické studie byla projednána s MMB OÚPR a sloužila jako podklad pro změnu Územního plánu města Brna. Změnu Územního plánu schválilo Zastupitelstvo města Brna na jednání dne 23. 6. 2009. [37]

Stavební pozemek tvoří několik pozemků v katastrálním území Zábrdovice, a sice 633/2, 633/3, 633/4, 633/5, 633/6, 637/1, 637/2, 637/3, 638/1, 638/2, 638/6, 638/7, 638/8, 638/9, 647, 648, 649/1, 649/2, 652/1, 652/2, 652/3, 653, 654, 674, 675/2, 679, 681, 684, 757/1, 757/2, 757/3.

Na pozemcích, na nichž má být umístěna vlastní navrhovaná budova, se v současné době nacházejí inženýrské sítě:

- podzemní plynovodní vedení DN 200,
- podzemní vedení nízkého napětí,
- podzemní vedení vysokého napětí,
- vodovod a kanalizace,
- podzemní telekomunikační vedení,
- nadzemní telekomunikační vedení,
- nadzemní trolejové vedení,
- podzemní vedení veřejného osvětlení,
- primární kolektor Malinovského náměstí. [36]

4.4 POPIS OBJEKTU

Polyfunkční objekt je navržen se čtyřmi podzemními a deseti nadzemními podlažími. Všechna podzemní a první dvě nadzemní podlaží jsou vyhrazena především pro parkování, jsou zde také vyhrazeny prostory pro technické zázemí a komunikace. V 1.NP patří část plochy podlaží směrem do ulice Koliště (na hloubku jednoho modulu skeletu) a na nároží Koliště - Cejl obchodnímu partneru, který zajišťuje pohledovou clonu mezi veřejným prostorem a parkováním v nadzemních podlažích.

Vstup do objektu je navržen z nároží Koliště - Cejl, z ulice Koliště i z ulice Vlhké, v úrovni 3.NP směrem do ulice Koliště je možné napojení na lávku pro pěší, která je součástí plánované výstavby CD paláce na protější straně ulice Koliště.

Vstup z nároží Koliště - Cejl umožňuje pěším po eskalátorech vstoupit přímo z veřejného prostranství do obchodní galerie ve 3.NP nebo schodištěm a výtahy propojuje všechna nadzemní a podzemní podlaží budovy.

Vstup z Koliště propojuje schodištěm a výtahem z 4.PP až do 6.NP a bude umožňovat časově neomezené využití lávky nad Kolištěm a přechod pěších ze strany CD centra na protější stranu Koliště při Edison centru a opačně.

Vstup z ulice Vlhké zajišťuje vstup po eskalátorech přímo do obchodní galerie ve 3.NP.

Plánovaná a navržená budova Edison centra má celkem tři napojení na místní komunikace, jedno z ulice Koliště a dvě z ulice Vlhké. Na komunikaci z Koliště je navrhovaná budova napojena obousměrným sjezdem pouze pro osobní vozidla, napojení na komunikaci v ulici Vlhké blíže křižovatce s ulicí Cejl je určeno pro vjezd a výjezd osobních automobilů a výjezd zásobovacích vozidel. Druhé napojení na komunikaci ve Vlhké je navrženo pouze pro vjezd zásobovacích vozidel.

Součástí budovy Edison centra jsou parkovací stání pro potřebu uživatelů a také platným ÚPmB požadovaných 100 parkovacích míst pro veřejnou potřebu.

Jednotlivá podlaží s parkovacími stáními jsou propojena pojízdnými komunikacemi - šikmými rampami. Jednotlivá parkovací stání jsou navržena pro vozidla kategorie O1 a O2. Všechna parkovací podlaží jsou se zbývajícím částí budovy propojena schodišti a výtahy.

Obchodní galerie je umístěna ve třetím a čtvrtém nadzemním podlaží. Páté nadzemní a vyšší podlaží slouží pro administrativu. Momentálně tyto plochy nejsou navrženy. [36]

4.5 TEPLOTA A PRŮTOK ODPADNÍ VODY

Na kanalizační stoce zhruba 400 m po toku od vybrané lokality byla v průběhu roku 2015 měřena teplota (tabulka 2), a sice v měsících únor, duben, srpen a říjen. Jednalo se o měření na nátoku do odlehčovací komory Vlhká. Z dat lze pozorovat závislost teploty odpadní vody na spotřebě. Lze odvodit, že čím je větší spotřeba, tím větší je i teplota odpadní vody. Ve

večerních špičkách teplota vody narůstá, naopak v brzkých ranních hodinách prudce klesá. Teplota odpadní vody klesá či roste v závislosti na ročním období. Nejnižší teploty byly naměřeny během února, naopak nejvyšší během srpna. V grafech není zahrnuto klesání teploty odpadní vody během srážek, protože teploty byly měřeny v bezdeštných týdnech.

Na kanalizační stoce byl rovněž ve stejném období měřen průtok odpadních vod (tabulka 3) pomocí ultrazvukového senzoru pro snímání hladiny, dále 2 ultrazvukových senzorů pro měření rychlosti korelační metodou a kombinovaného senzoru pro měření hloubky prostřednictvím hydrostatického tlaku a rychlosti korelační metodou. Lze pozorovat denní a rovněž měsíční rozdíly průtoku odpadních vod. Na rozdíl od teploty dochází kromě večerní špičky k vyšším hodnotám i během poledne, někdy k dokonce větším průtokům než ve večerních hodinách. Zatímco v dubnu dochází k největším průtokům, k nejmenším dochází v srpnu.

TAB. 2 TEPLITY V KANALIZAČNÍ STOCE

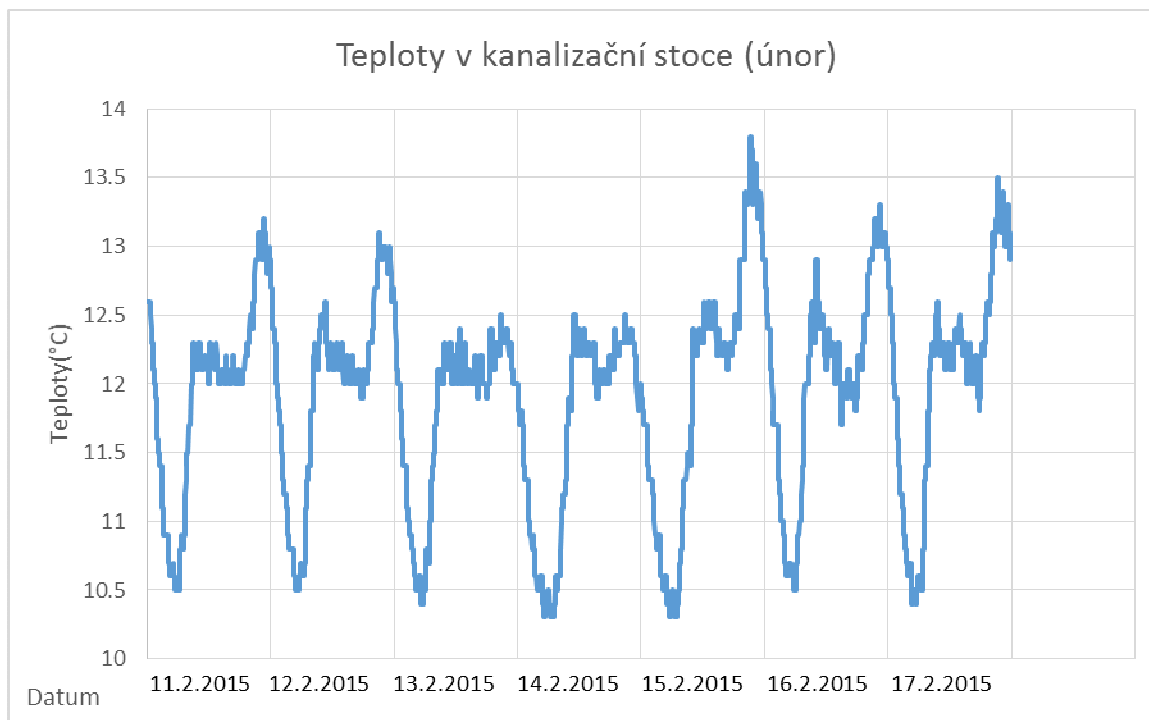
Období (měsíc/rok)	průměrná teplota [°C]	minimální teplota [°C]	maximální teplota [°C]
02/2015	11.9	10.3	13.8
04/2015	13.8	11.7	15.8
08/2015	18.4	16.7	19.7
10/2015	16.5	14.9	18.3

TAB. 3 PRŮTOKY V KANALIZAČNÍ STOCE

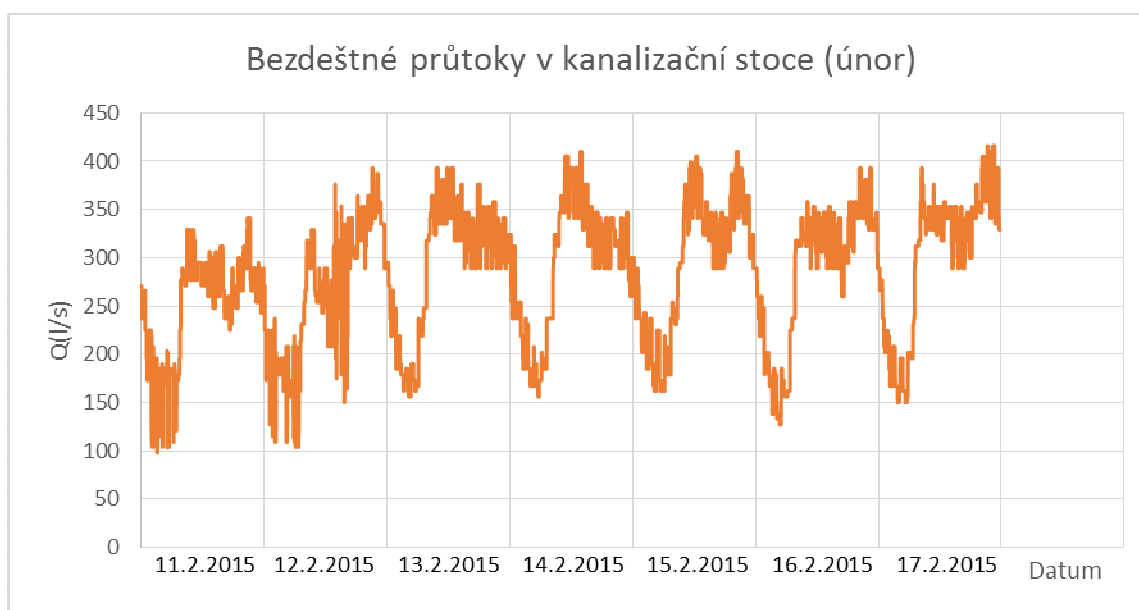
Období (měsíc/rok)	průměrný průtok [l/s]	minimální průtok (l/s)	maximální průtok (l/s)
02/2015	282	98	416
04/2015	284	104	428
08/2015	229	47	341
10/2015	248	66	434

4.5.1 ÚNOR

Na obr. č.35 a č.36 je vidět záznam měření mezi 11.2.-17.2. 2015. Teplota odpadní vody se pohybovala v průměru okolo hodnoty 11,9 °C. Minimální naměřená teplota odpadní vody v únoru a zároveň i v celém měření byla 10,3 °C, což je teplota, při které je odpadní voda stále energeticky výhodný zdroj energie. Maximální teplota naměřená v únoru byla 13,8 °C. V únoru dochází k poměrně velkým průtokům. Průměrně proteklo kanalizační stokou 282 l/s, minimálně 98 l/s a maximálně 416 l/s.



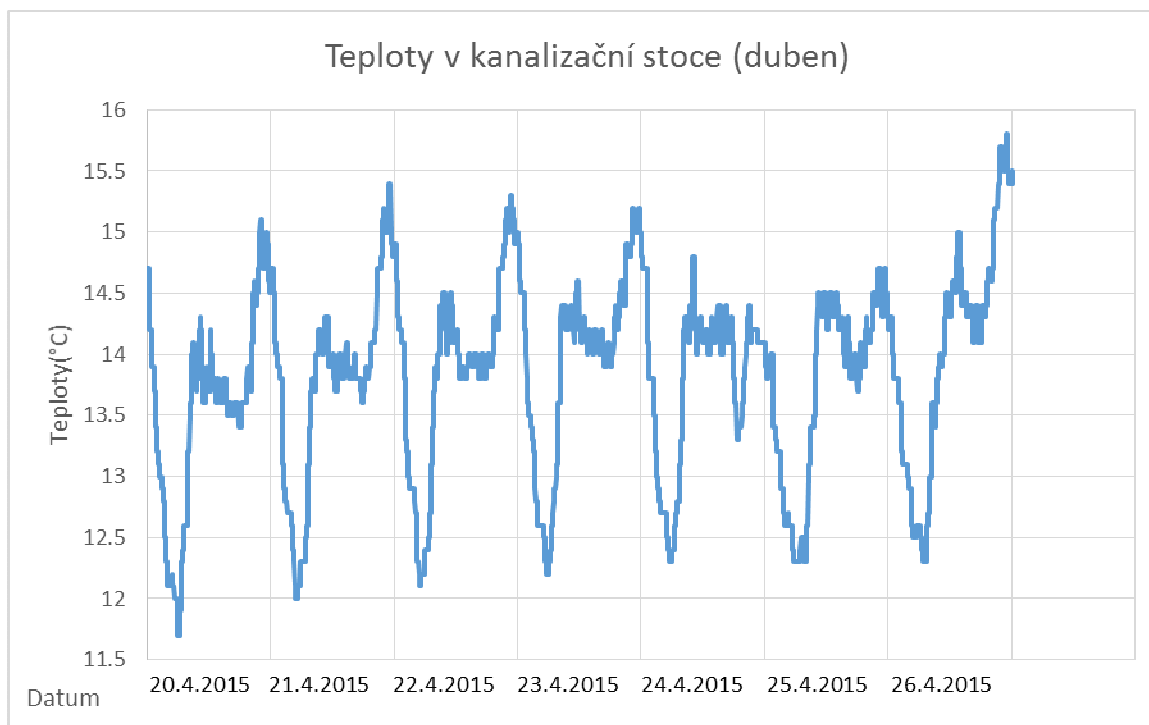
Obr.35 – Teploty v kanalizační stoce v měsíci únor



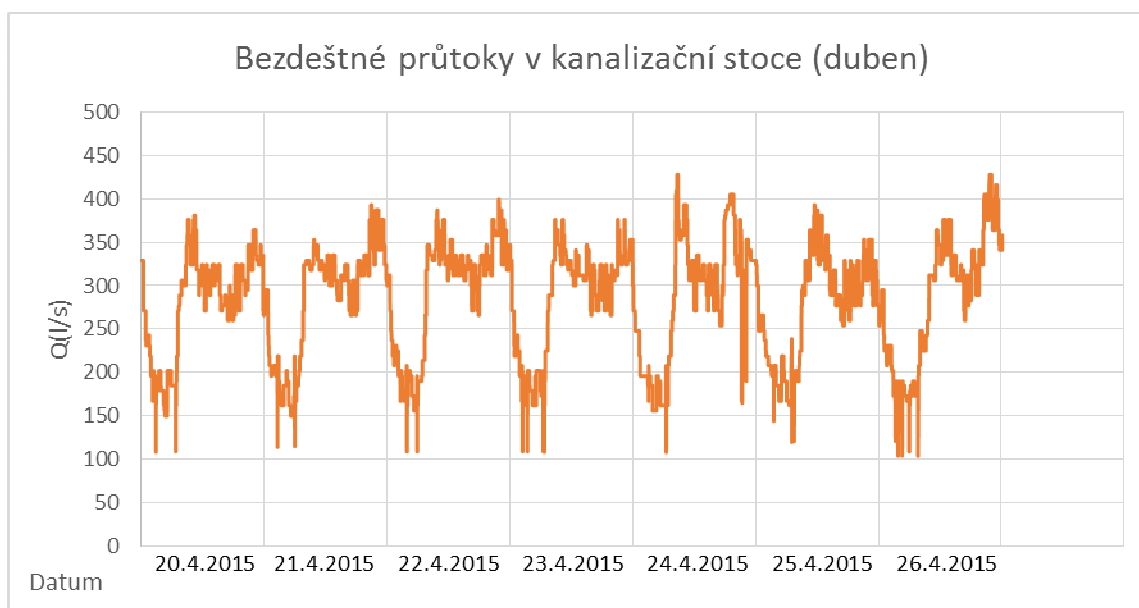
Obr.36 – Bezdeštné průtoky v kanalizační stoce v měsíci únor

4.5.2 DUBEN

Během týdne mezi 20.4-26.4 2015 (obrázky 37 a 38) se teplota odpadní vody zvedla průměrně o 1,9 °C oproti únorové průměrné teplotě. Na obr. 37 lze vidět zřetelný opakující se vzor. Maximální teploty, které dosáhne odpadní voda je 15,8 °C. Nejnižší teplotou je 11,7 °C. V tomto měsíci dochází k nejvyššímu průměrnému 284 l/s a minimálnímu 104 l/s průtoku odpadní vody. Maximální průtok je v měsíci dubnu dosažen při hodnotě 428 l/s.



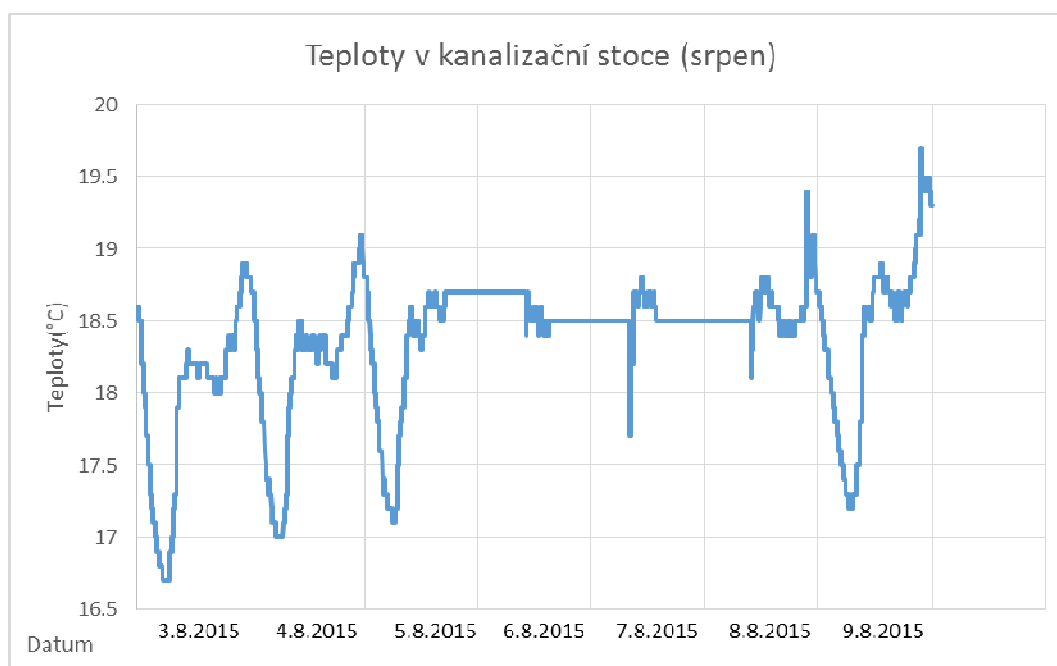
Obr.37 – Teploty v kanalizační stoce v měsíci duben



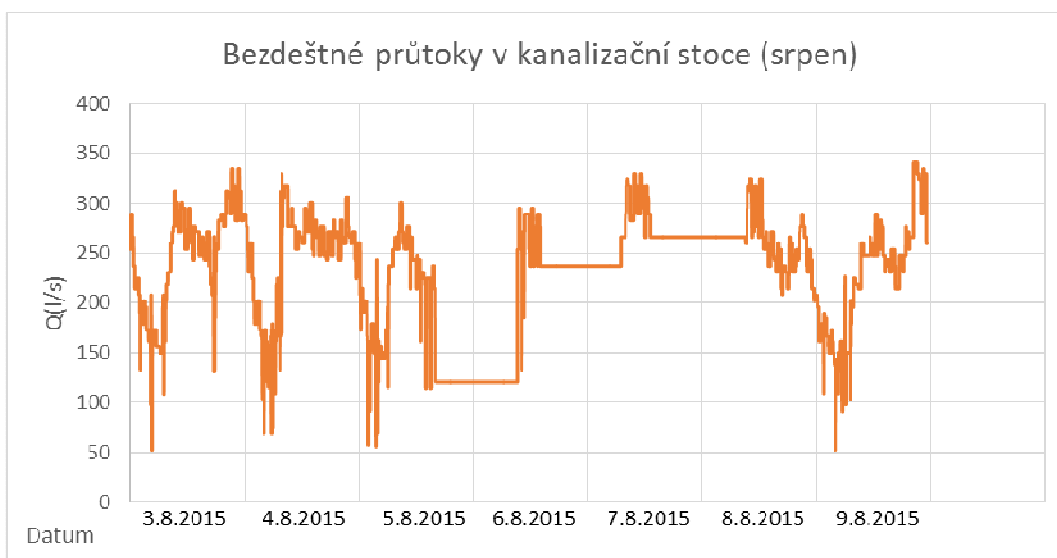
Obr.38 – Bezdeštné průtoky v kanalizační stoce v měsíci duben

4.5.3 SRPEN

V srpnu byla měřena teplota mezi 3.8. - 9.8. 2015. Na obrázcích 39 a 40 je zřetelné, že 5.8. - 8.8. 2015 došla k výpadkům měření, proto je zde zachycena teplota a průtok jako konstantní. Maximální teplotou v měsíci srpnu a celém měření je 19,7 °C, naopak nejnižší 16,7 °C. Průměrně bylo v kanalizační stoce naměřeno 18,4 °C. Při analýze průtokových dat bylo nutné v měsíci srpnu některé data vyfiltrovat, protože docházelo ke špatnému měření. V srpnu dochází k nejnižším průtokům z měřených měsíců. Průměrný průtok dosahuje pouze 229 l/s a maximální průtok 341 l/s. Minimální průtok 47 l/s je také nejnižším průtokem z celého měření.



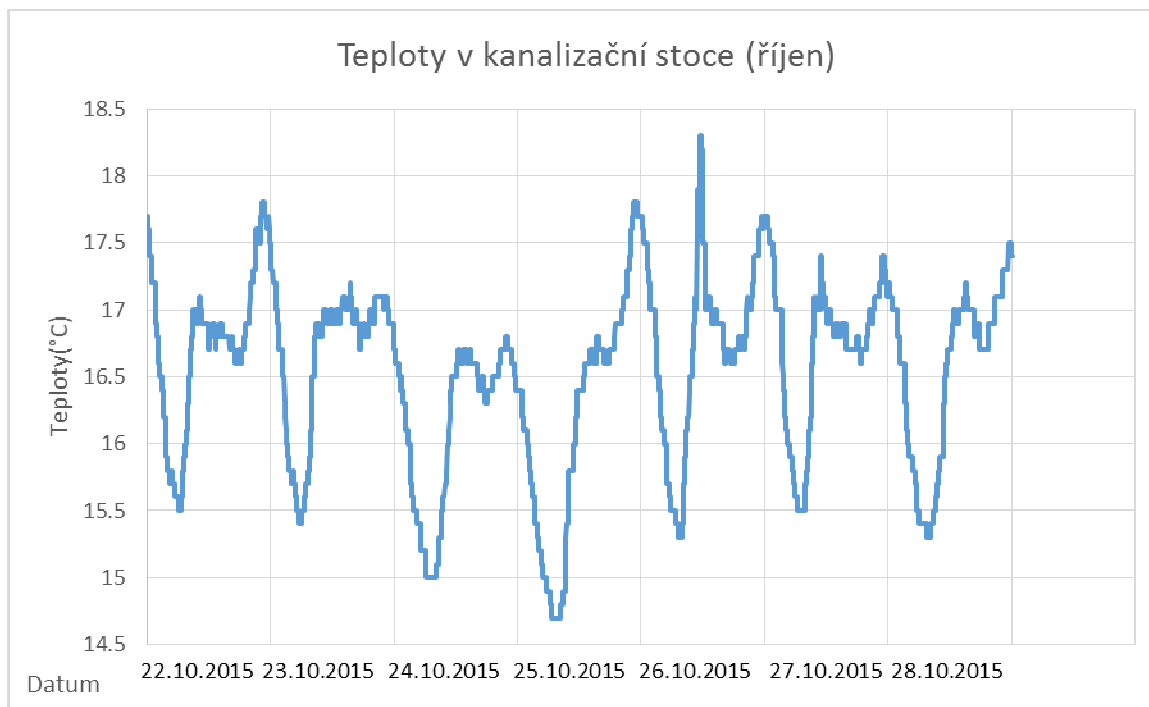
Obr.39 – Teploty v kanalizační stoce v měsíci srpen



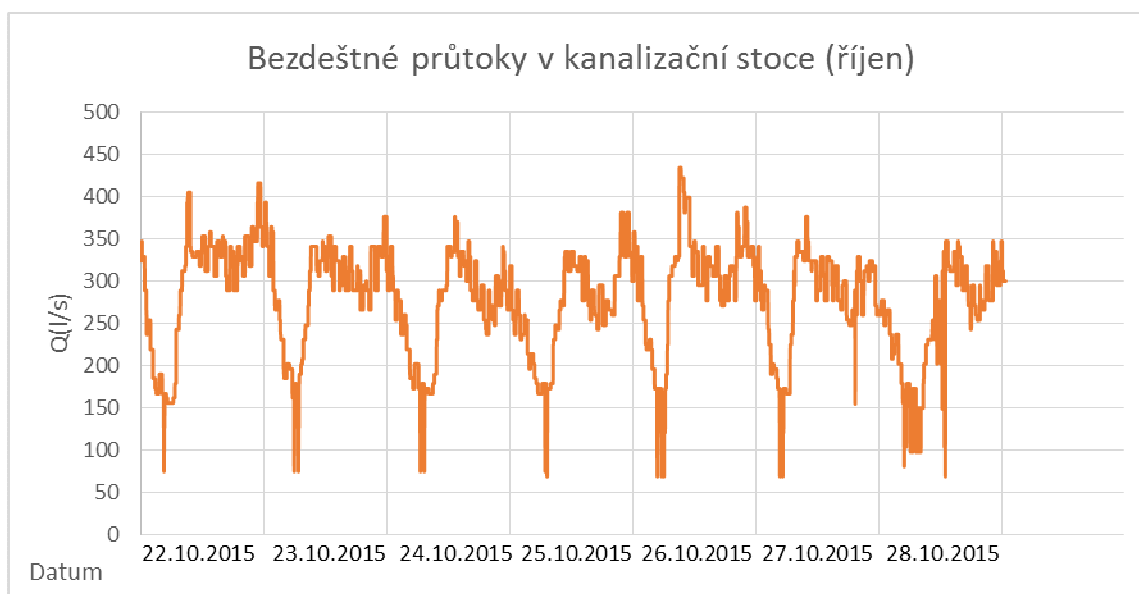
Obr.40 – Bezdeštné průtoky v kanalizační stoce v měsíci srpen

4.5.4 ŘÍJEN

V říjnovém týdnu od 22.10.2015 do 28.10. 2015 (obrázky 41 a 42) dochází k nejmenším rozdílům mezi nejnižší a nejvyšší teplotou. Nejnižší naměřenou teplotou je 14,9 °C, naopak nejvyšší 18,3 °C. Průměrně se teplota odpadní vody pohybovala okolo 16,5 °C. V měsíci říjnu rovněž muselo dojít k vyfiltrování dat a byly tak vyřazeny špatně naměřené hodnoty. V říjnu byl naměřen celkový maximální průtok 434 l/s. Průměrně protéklo v kanalizační stoce 248 l/s a minimálně 66 l/s.



Obr.41 – Teploty v kanalizační stoce v měsíci říjen



Obr.42 – Bezdeštné průtoky v kanalizační stoce v měsíci říjen

4.6 NÁVRH

Byl navržen systém pro rekuperaci tepla z odpadní vody na obtoku z kanalizační stoky pomocí modulárních výměníků. Důvodů zvolení tohoto systému bylo několik. Do kanalizační stoky DN 5100/2300 kvůli nepravidelnému a ne kruhovému profilu nelze zabudovat výměníky do dna. Kvůli malému tepelnému výkonu se rovněž nevyplatí udělat obtok, na němž by byly výměníky zabudované do stěn. Z hlediska provozovatele se nejvýhodněji jevila varianta využití modulárních výměníků, které jsou automaticky čištěny. Tato varianta řešení si však žádá přistavení nových prostor v 1NP. Z kanalizační stoky DN 5100/2300 vede do čerpací jímky propojovací potrubí. Kvůli nedostatečnému prostoru pro provozní objem byla čerpací jímka umístěna do budovy a to konkrétně do 1PP a 2PP. Voda je předčištěna systémem Rok4, a vyčerpána čerpadly do třech výměníků RoWin v 1NP, ze kterých přepadem odtéká zpátky se shrabky z předčištění do kanalizační stoky. Veškeré nerezové potrubí jsou svařovány, pouze u tvarovek a stěn je využit přírubový spoj. V případě realizace je nutné staticky posoudit zatížení čerpací jímky a výměníků.

4.6.1 NÁVRH PROPOJOVACÍHO POTRUBÍ

Při návrhu nátoky na čerpací jímku byla využita tabulka 4. Z daných hodnot byly vypočítány výšky hladin pro průměrné, minimální průměrné a maximální průměrné průtoky dle Chézyho-Manninga v tabulce 5. Následně daným výškám byly přiřazeny nadmořské výšky. Ty byly vypočítány do tabulky 6 a vykresleny do obrázku 43, kde lze vidět průřez kanalizační stokou DN5100/2300. Dno nátoky na čerpací jímku bylo umístěno na minimální průměrnou hladinu tak, aby nedocházelo k nátoky sunutých pevných částic na čerpací jímku a zároveň docházelo k požadovanému průtoku.

TAB. 4 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO NÁVRH PROPOJOVACÍHO POTRUBÍ

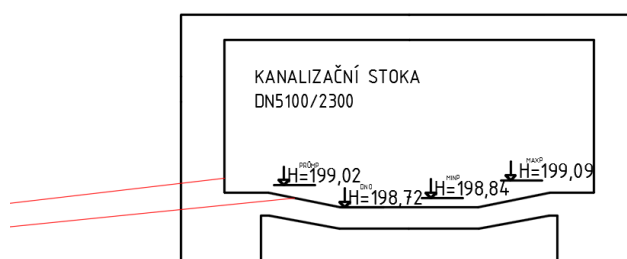
Q_{prům}	260.75 l/s	průměrný průtok
Q_{minp}	78.75 l/s	minimální průměrný průtok
Q_{maxp}	404.75 l/s	maximální průměrný průtok
i	1 ‰	sklon dna
b₁	1.9 m	šířka dna
b₂	5 m	šířka stoky
n	0.013 -	drsnost
m	5 -	sklon stěn

TAB. 5 VÝPOČET VÝŠKY HLADIN V KANALIZAČNÍ STOCE

h (m)	A (m ²)	O (m)	R (m)	c (m ^{0.5} /s)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q (l/s)	
0.12	0.32	3.17	0.10	52.35	0.63	0.08	78.75	Q _{minp}
0.18	0.52	3.74	0.14	55.41	0.79	0.14	142.47	
0.30	1.14	7.18	0.16	56.64	0.86	0.26	260.75	Q _{prŭmp}
0.37	1.32	5.84	0.23	60.02	1.09	0.40	404.75	Q _{maxp}

TAB. 6 NADMOŘSKÉ VÝŠKY HLADIN V KANALIZAČNÍ STOCE

Dno	198.72 m n.m.
Q_{minp}	198.84 m n.m.
Q_{prŭmp}	199.02 m n.m.
Q_{maxp}	199.09 m n.m.

*Obr.43 – Vykreslení hladin do profilu kanalizační stoky*

Na propojovacím potrubí bylo potřeba vypočítat ztráty. Jednak kvůli zjištění nadmořské výšky maximální provozní hladiny v čerpací jímce a rovněž dna propojovacího potrubí v čerpací jímce. Dle Herleho se v potrubí DN 300 má pohybovat voda rychlostí 0,78-1,35 m/s při průtočném množství 55-95 l/s. Sklon tlakové čáry při požadovaném průtoku 90 l/s je 8,304 ‰ při rychlosti 1,27 m/s. Výpočet probíhal za pomoci Herleho tabulek. [38] Na nátoku nejsou navrženy hrubé česle kvůli náročné kontrole a údržbě (nutnost vstupu do hlavní stoky). V blízkosti hlavní stoky je osazeno nožové šoupě TLT DN 300 s teleskopicky ovládanou tyčí pro manuální uzavírání celého systému rekuperace tepla z odpadní vody. Další šoupě z nerez je osazeno před mechanickým předčištěním a je dodáváno jako součást systému Huber RoK4. Slouží k případnému obtoku systému při havárii. V prostupu do budovy je využito článkové těsnění. V tabulkách 7,8 a 9 jsou vypočítány ztráty v propojovacím potrubí.

TAB. 7 VÝPOČET ZTRÁT TŘENÍM V PROPOJOVACÍM POTRUBÍ

Q	90.00 l/s	návrhový průtok
i	8.30 ‰	sklon tlakové čáry
v	1.27 m/s	návrhová rychlost
L	4.55 m	délka potrubí
h_{zd}	0.04 m	celková ztráta třením

TAB. 8 VÝPOČET MÍSTNÍCH ZTRÁT V PROPOJOVACÍM POTRUBÍ

ξ_1	0.3 -	součinitel místní ztráty pro nožové šoupě
ξ_2	0.4 -	součinitel místní ztráty na vtoku
ξ_3	0.05 -	součinitel místní ztráty pro změnu sklonu
v	1.27 m/s	návrhová rychlost
g	9.81 m/s ²	gravitační zrychlení
h_{zm1}	0.05 m	místní ztráta na šoupatách
h_{zm2}	0.03 m	místní ztráta na vtoku
h_{zm3}	0.004 m	místní ztráta na změně sklonu
h_{zm4}	0.37 m	místní ztráta na sítu
h_{zm}	0.51 m	celková místní ztráta

TAB. 9 CELKOVÉ ZTRÁTY V PROPOJOVACÍM POTRUBÍ

h_z	0.54 m	celková ztráta
-------	--------	----------------

TAB. 10 VYPOČTENÉ NADMOŘSKÉ VÝŠKY

Hladina při průměrném průtoku	199.02 m n.m
Hladina v ČJ při započítání ztrát	198.48 m n.m
Dno propojovacího potrubí v ČJ	198.33 m n.m
Rezerva	0.15 m

Celková ztráta na propojovacím potrubím nesmí být větší než rozdíl mezi hladinou při průměrném průtoku a dnem propojovacího potrubí. Proto je dno propojovacího potrubí v čerpací jímce navrženo tak, aby byl rozdíl mezi oběma hodnotami o 0,15 m navýšen a vznikla tak rezerva. Vypočtené nadmořské výšky lze vidět v tabulce 10. Je navrženo propojovací potrubí TLT DN 300 o celkové délce 4,55 m ve sklonu 12 %.

4.6.2 NÁVRH ČERPACÍ JÍMKY

Čerpací jímka má půdorysné rozměry 8,6x3,45 m. Na propojovací potrubí navazuje prvek mechanického předčištění. Kvůli kompaktnosti a snadné instalaci do omezených prostorů bylo navrženo automaticky čištěné síto s vertikálním odstraňováním odvodňováním shrabků. Jedná se o robustní, na údržbu nenáročné zařízení, které je čištěno automaticky. K odstranění látek dojde na povrchu válcového síta v závislosti na perforaci. Kartáče čistí perforovaný koš

a dopravník dopravuje shrabky směrem nahoru. V této fázi dochází k odstraňování a odvodňování shrabků zároveň. Motor předčištění se nachází v 1 NP. Zde jsou rovněž shrabky „vyvrhovány“ do odtokového potrubí NEREZ DN 300 a jsou splachovány odpadní vodou z odtokového potrubí zpět do stoky. Pro případné čištění je navrhnout čistící kus. Přítoková komora je otevřená a slouží rovněž jako obtok. Hlavní výhodou je, že celý systém může být zatopen. Celá konstrukce je vyrobena z nerezové oceli 304L, nebo materiálu podobné kvality mořené v kyselině (kromě vzduchotechniky a hadic). Maximální obsah kyseliny sírové ve vzduchu může být 6 ppm.

Technické údaje:

Značka:	Huber
Typ:	Rok 4 500/6
Maximální průtok:	120 l/s
Váha:	510 kg
Maximální koncentrace filtrovaných látek:	300 mg/l
Tloušťka perforované desky:	6 mm
Délka stoje:	6500 mm
Maximální ucpání síta:	30 %

Motorem pro síto musí být motor do aplikací se stříkající vodou.

Technické údaje:

Značka:	Bauer
Typ:	BF60ZX-74W
Výkon:	$P = 1,5 \text{ kW}$
Jmenovitý proud:	$I = 3,6 \text{ A}$
Napětí:	$U = 400 \text{ V}$
Frekvence:	$f = 50 \text{ Hz}$
Rotační rychlost na výstupní ose:	$n = 8,3 \text{ min}^{-1}$
Rotační rychlost na ose motoru:	$n = 1400 \text{ min}^{-1}$

Odpadní voda dále stéká po spádovaném betonu k čerpadlům. Pro návrh čerpadel bylo nutné stanovit počáteční údaje.

TAB. 11 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO NÁVRH ČERPADEL

Návrhová zapínací hladina ČJ	197.98 m n.m
Maximální výška	204.49 m n.m
Statická výška	6.51 m
Celková délka výtlačného řadu	13.10 m

Nejprve došlo k vypočítání místních ztrát a ztrát třením na výtlaku. Bylo využito internetových stránek www.xylect.com, pomocí kterých byla navržena čerpadla od značky Flygt. [39] Výpočet ztrát třením probíhal dle White-Colebrooka. Výtlak byl navržen v nerez o vnitřním průměru 250 mm. Ztráty jsou vypočítány v tabulkách 12, 13 a 14, z nichž byly odvozeny následné parametry výtlaku.

TAB. 12 VÝPOČET ZTRÁT TŘENÍM NA VÝTLAKU

Q	90.00	l/s	návrhový průtok
k	0.40	mm	drsnost
d	0.25	m	DN
L	13.10	m	délka potrubí
ρ	999.90	kg/m ³	hustota
γ	1.57	mm ² /s	viskozita
v	1.83	m/s	návrhová rychlost
h_{zd}	0.2047	m	celková ztráta třením

TAB. 13 VÝPOČET MÍSTNÍCH ZTRÁT NA VÝTLAKU

ξ_1	0.30 -	součinitel místní ztráty pro patkové koleno
ξ_2	0.30 -	součinitel místní ztráty pro koleno
ξ_3	1.00 -	součinitel místní ztráty pro vtok
ξ_4	0.90 -	součinitel místní ztráty pro zpětnou klapku
ξ_5	4.00 -	součinitel místní ztráty pro výměníky
ξ_6	1.00 -	součinitel místní ztráty pro výtok
ξ_7	0.40 -	součinitel místní ztráty křížovou tvarovku
ξ_8	0.40 -	součinitel místní ztráty pro T-kus
ξ_9	0.30 -	součinitel místní ztráty pro nožové šoupě
ξ_{10}	1.00 -	součinitel místní ztráty pro redukci
ξ_{11}	0.20 -	součinitel místní ztráty pro rozšíření
ξ_{12}	0.50 -	součinitel místní ztráty pro soutok
v	1.83 m/s	návrhová rychlost
g	9.81 m/s ²	gravitační zrychlení
h_{zm1}	0.05 m	místní ztráty pro patkové koleno
h_{zm2}	0.21 m	místní ztráty pro kolena (4x)
h_{zm3}	0.17 m	místní ztráty pro vtok
h_{zm4}	0.15 m	místní ztráty pro zpětnou klapku
h_{zm5}	0.69 m	místní ztráty pro výměníky
h_{zm6}	0.17 m	místní ztráty pro výtok
h_{zm7}	0.07 m	místní ztráty pro křížovou tvarovku
h_{zm8}	0.07 m	místní ztráty pro T-kus
h_{zm9}	0.10 m	místní ztráty pro nožové šoupě (2x)
h_{zm10}	0.17 m	místní ztráty pro redukci
h_{zm11}	0.03 m	místní ztráty pro rozšíření
h_{zm12}	0.09 m	místní ztráty pro soutok
h_{zm}	1.97 m	celková místní ztráta

TAB. 14 CELKOVÁ ZTRÁTA NA VÝTLAKU

h_z	2.175 m	celková ztráta
-------------------------	---------	----------------

TAB. 15 PARAMETRY VÝTLAKU

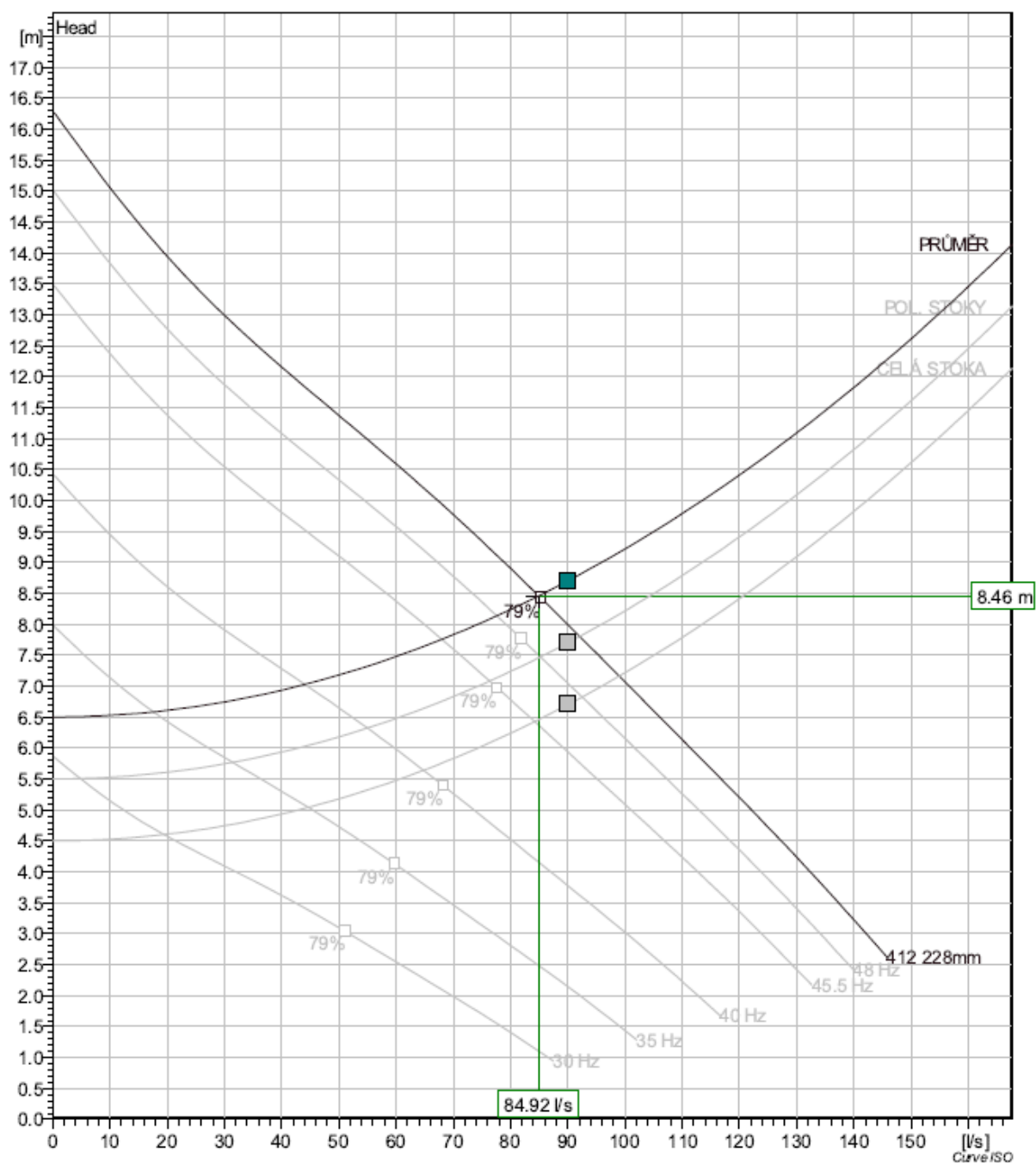
Ztrátová výška	2.18 m
NPSH	9.64 m
Statická/geodetická výška	6.51 m
Celková dopravní výška	8.68 m

K vyčerpání odpadních vod byla navržena dvojice kalových ponorných čerpadel NP 3153 LT3~412 z šedé litiny, osazených na patkové koleno a vodící tyče. Pro čerpadla je vymezen prostor 1550x1870 mm. Do toho prostoru je spádována celá jímka. Návrhový pracovní bod je dán výpočtem: při požadovaném průtoku 90 l/s je čerpaná výška 8,7 m (při statické výšce 6,5 m). Skutečný pracovní bod je dán pracovní charakteristikou použitého čerpadla a systémovou charakteristikou výtlačného potrubí: skutečný průtok proto bude 84,92 l/s při dopravní výšce 8,64 m. Na obr. 44 lze vidět charakteristiky jak pro potrubí, tak pro čerpadlo. Jsou zde vykresleny tři návrhové situace, a sice při průměrném bezdeštném průtoku ve stoce, polovičním zaplnění stoky a úplném zaplnění stoky. Obě čerpadla jsou osazena frekvenčními měniči, které budou naprogramovány tak, aby na výměník nikdy neteklo více než 90 l/s. Při bezdeštném průtoku bude systém udržovat konstantní provozní hladinu: změnou frekvence, při zachování nastavené provozní hladině, umožní regulaci v rozsahu 3 – 85 l/s (při frekvenci 33 – 50 Hz). Čerpadlo (v provozu je vždy pouze jedno, druhé je rezerva) v tomto režimu přizpůsobuje svůj výkon přítoku. Pokud však klesne přítok pod určitou hodnotu (cca 6 l/s), nelze již snižovat průtok čerpadla snižováním otáček a při čerpání se začne hladina snižovat, až se dosáhne minimální (a vypínací) provozní hladiny 197,14 m n. m. Hladina poté vystoupá na maximální provozní hladinu 197,98 m n.m., a čerpadlo se znovu zapne.

Jiný provozní režim bude při dešti, při zvýšené hladině ve stoce se začne zvyšovat hladina i v čerpací jímce a čerpadlo začne čerpat větší množství. Do průtoku cca 90 l/s se nemusí snižovat průtok čerpadlo, při max. provozní hladině by však mohl průtok čerpadlem překročit max. průtok výměníkem (průtok může být v tomto případě cca 100 l/s a proto bude snížena frekvence, aby průtok čerpadlem nepřekročil max. průtok $3 \cdot 32 \text{ l/s} = 96 \text{ l/s}$). Návrh čerpadla s otáčkovou regulací je vidět na obrázku 44.

Celkový provozní objem činí $18,5 \text{ m}^3$. Čerpadla budou v provozu při dostatečném přítoku celý den. Střídat se budou podle časového spínače tak, aby jedno čerpadlo pracovalo 1/3 času a druhé 2/3 času. Dá se tak předejít situaci, kdy by se obě čerpadla odstavila z důvodu poruchy zároveň. K manipulaci s čerpadly se využijí poklopy, při manipulaci je čerpadlo

vedeno po vodicích tyčích za pomoci řetězu. Ostatní údaje o čerpadle jsou uvedeny v příloze 4.



Obr.44 – Návrh čerpadla s otáčkovou regulací

Technické údaje:

Značka:	Flygt
Typ:	NP 3153 LT 3~ 412
Materiál oběžného kola:	šedá litina
Vnitřní průměr výtokové příruby:	200 mm
Vnitřní průměr vtokové příruby:	200 mm
Průměr statoru:	228 mm
Počet lopatek:	2

Motor je uzpůsoben trvalému ponoření. Teplo je koncentrováno do jádra statoru pro lepší chladicí vlastnosti.

Technické údaje:

Typ:	N3153.181 21-18-4AA-W 13,5 kW
Statorová varianta:	2
Napětí:	U = 400 V
Frekvence:	f = 50 Hz
Počet pólů:	4
Fáze:	3~
Jmenovitý výkon:	13,5 kW
Jmenovitý proud:	27 A
Rozběhový proud:	145 A
Jmenovité otáčky:	1455 ot/min

Samotný výtlak začíná za patkovým kolenem. Pro tento typ čerpadla se používá standardně DN 200, v tomto případě však bude výhodnější použít variantu: patkové koleno DN 200/DN 250, takže výtlachné nerezové potrubí DN 250 bude pokračovat bez přechodu (přechod zajistí rozšiřující se patkové koleno). Odpadní voda dále pokračuje nerezovým potrubím přes zpětnou klapku a šoupě ke společné části potrubí (protože bude v provozu vždy pouze jedno z dvojice čerpadel, tak není potřeba zvyšovat průměr společného výtlaku). Za ním se nachází vypouštění výtlaku. V místě s největším zatížením jsou navrženy závěsy na potrubí. Skrz stěnu prochází výtlak prostupy utěsněným článkovým těsněním. V 1 NP dochází k rozdělení průtoku do tří stejně dlouhých větví. Výtlak přechází do vnitřního průměru 200 mm. Na každé větvi je osazen indukční vodoměr DN 100 s požadovanými uklidňujícími délkami. Těsně před výtokem do výměníku je osazeno nožové šoupě DN 200.

Přístup do čerpací jímky budou zajišťovat čtyři poklopy, všechny vodotěsné a pachotěsné. Dva nerezové poklopy 600x900 mm budou sloužit ke kontrole a údržbě ponorných kalových čerpadel. Další nerezový poklop 600x900 mm bude sloužit pro vstup do jímky po navržených nerezových stupadlech. Nerezový poklop 1200x675 mm bude sloužit ke kontrole a údržbě mechanického předčištění v čerpací jímce. Odvětrání bude zajišťovat PVC potrubí DN 100 umístěné na stropě čerpací jímky, vedoucí přes 1 NP, které bude ukončeno na střeše komínkem s filtrem. Rozváděcí skříň pro čerpadla, automatické systémové řízení a měření a regulace se bude nacházet v 1 NP.

4.6.3 NÁVRH MĚŘENÍ A REGULACE

Měření průtoku bude zajištěno za pomoci elektromagnetického průtokoměru Siemens Magflow 5000/5100 W vyrobeného z uhlíkové oceli s protikorozní ochranou osazeného před každý výměník. Systém bude zapojen na příruby.

Technické údaje:

Značka:	Siemens
Typ:	Magflow 5000/5100 W
Měřitelné rychlosti:	$v = 0 - 10 \text{ m/s}$
Přesnost:	$0,2 \% \pm 2,5 \text{ mm/s}$

Robustní keramický tlakový senzor je měřící jednotka umístěná do nádrží s analogovým výstupním signálem.

Technické údaje:

Výrobce:	VEGA apod.
Typ:	VEGA bar 52
Měřitelné tlaky	$p = 0 - 200 \text{ mbar}$
Napětí	$U = 24 \text{ V}$
Výchozí signál	$I = 4-20 \text{ mA}$

Teplotní sensor bude stejně jako tlakový senzor umístěn v nádrži výměníku. Je vyroben z nerezové oceli a dochází na něm ke kontinuálnímu měření teplot.

Technické údaje:

Výrobce:	BD SENSORS
Typ:	LMP 307T
Měřitelné teploty:	$0 - 30^{\circ}\text{C}$
Výchozí signál:	$I = 4-20 \text{ mA}$

4.6.4 NÁVRH VÝMĚNÍKU

Návrh výměníku probíhal ve spolupráci s firmou Huber. Výměník bude fungovat po celý rok a to jak pro chlazení, tak i vytápění objektu. Potřeba tepla pro multifunkční centrum byla napočítána na 950 kW za den. Potřeba tepla pro ohřev vody byla napočítána na 120 kW za den. [37] Systém bude fungovat bivalentně, tzn. sekundárním zdrojem tepla bude parní síť centrálního zásobování teplem, která je provozována dodavatelem tepla Teplárny a.s., Brno. V tabulce 16 byly nejprve stanoveny vstupní údaje pro návrh výměníku tepla.

TAB. 16 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO NÁVRH VÝMĚNÍKU TEPLA

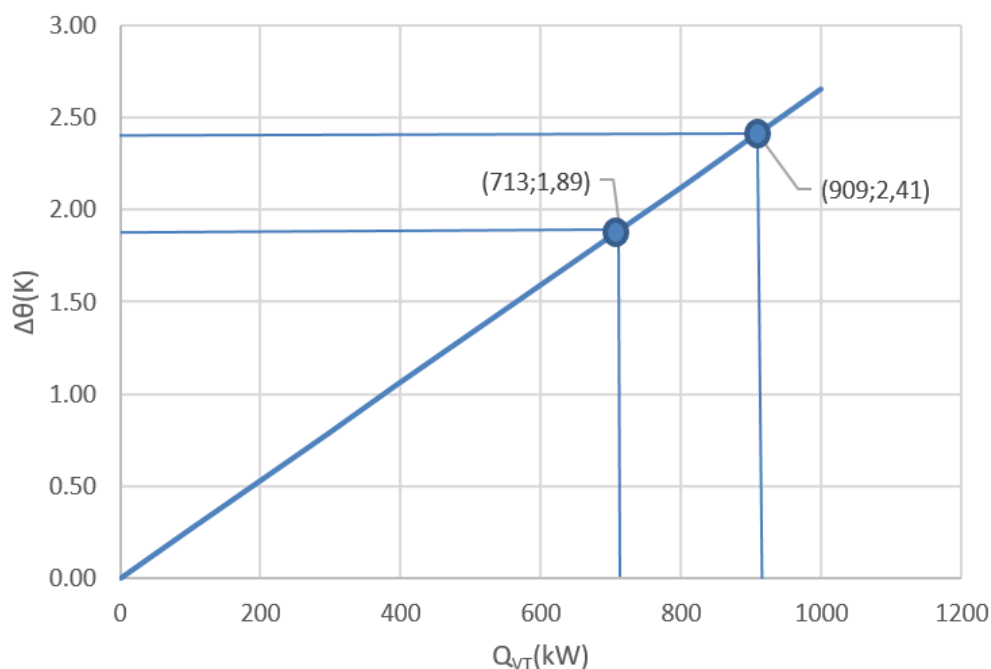
$Q_{\text{prům}}$	260.75 l/s
$Q_{\text{prům srpen}}$	229 l/s
$T_{\text{prům}}$	15.20 °C
$T_{\text{prům únor}}$	12 °C
Potřeba tepla	950.0 kW
Potřeba tepla_{TUV}	120 kW

V tabulce č. 17 je vypočítáno množství využitelného tepla. Použitým průtokem je průměrný průtok v kanalizační stoce za měřené měsíce.

TAB. 17 VÝPOČET MNOŽSTVÍ VYUŽITELNÉHO TEPLA

c	4.19 kJ/(kg*K)	měrná tepelná kapacita odpadní vody
ρ	1 kg/l	hustota odpadní vody
Δθ	2.0 K	průměrný teplotní rozdíl (odhad)
Q_{ww}	260.75 l/s	průtok odpadní vody
Q_{VT}	2185 kW	množství využitelného tepla

Z celkového průměrného průtoku 260,75 l/s bylo navrženo využití 90 l/s. Na následujícím grafu na obrázku 45 je zřejmé, jak se v závislosti na využitelném teple mění ochlazení odpadní vody. Pro výměníky platí, že při 90 l/s a využitém teple 739 kW, resp. 909 kW ochladí odpadní vodu o 1,89 °C, resp. 2,41 °C. Na grafu na obrázku 45 lze vidět závislost tepelného výkonu výměníku na ochlazení vody.



Obr.45 – Ochlazení odpadní vody

Vytápění

Primárním účelem výměníku bylo vytápění polyfunkčního objektu, proto došlo první k návrhu vytápění. K návrhu vytápění byla použita průměrná teplota odpadní vody ve stoce v měsíci únoru, jakožto reprezentativní měsíc topného období. Teplota vody přitékající na výměník byla určena. Součinitel prostupu tepla byl dodán od výrobce Huber, stejně jako účinná plocha výměníku. Celkový tepelný výkon výměníku činil 713 kW. Z této hodnoty bylo zpětně dopočítáno ochlazení odpadní vody. Odpadní voda bude ochlazená o 1,9 °C. Následně byl vypočítán tepelný výkon tepelného čerpadla s odhadnutou hodnotou topného faktoru. Výpočty lze vidět v tabulce 18.

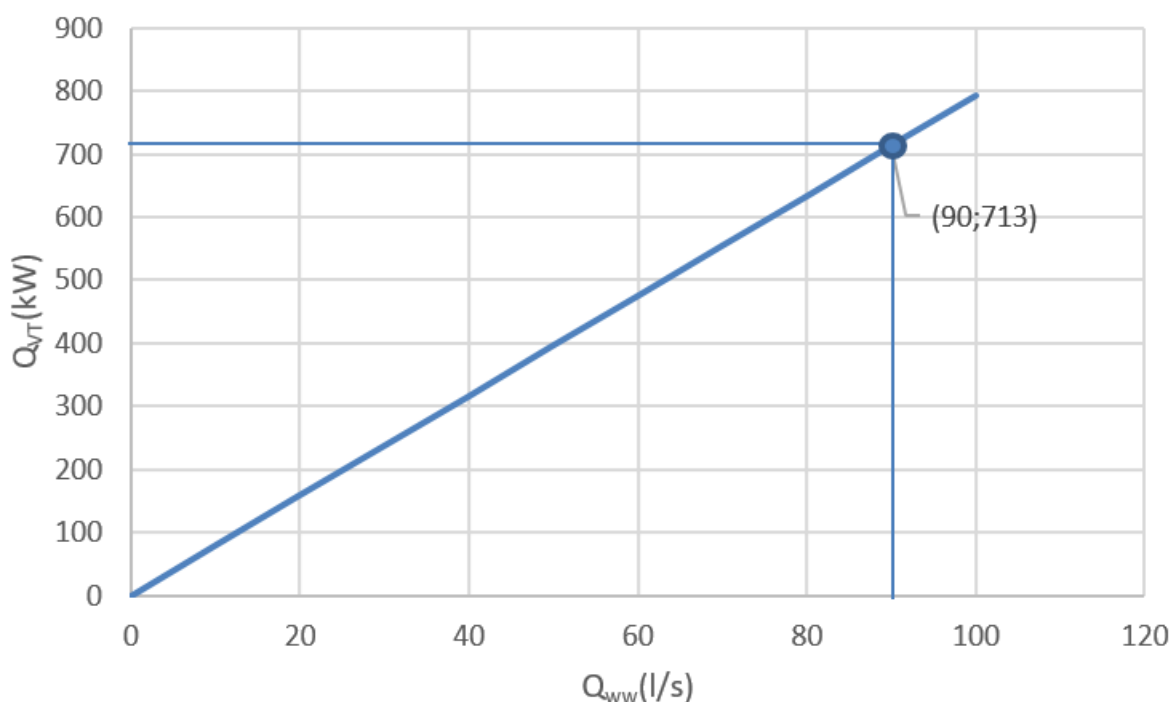
TAB. 18 VYPOČET TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKU, SNÍŽENÍ TEPLoty ODPADNÍ VODY A TEPELNÉHO VÝKONU ČERPADLA - VYTÁPĚNÍ

T	11.9 °C	průměrná teplota odpadní vody na přítoku na výměník (únor)
T	5 °C	teplota vody na přítoku na výměník
Δθ	6.90 K	průměrný teplotní rozdíl
U	689 W/(m ² *K)	součinitel prostupu tepla
A_{VT}	150 m ²	účinná plocha výměníku tepla
Q_{VT}	713 kW	tepelný výkon výměníku tepla

Q_{VT}	713 kW	tepelný výkon výměníku tepla
c	4.19 kJ/(kg*K)	měrná tepelná kapacita odpadní vody
ρ	1 kg/l	hustota odpadní vody
Q_{ww}	90 l/s	průtok odpadní vody (určen)
T	1.9 °C	průměrný teplotní rozdíl
T	11.9 °C	průměrná teplota odpadní vody na přítoku na výměník (únor)
T	10.0 °C	teplota odpadní vody na odtoku na výměník

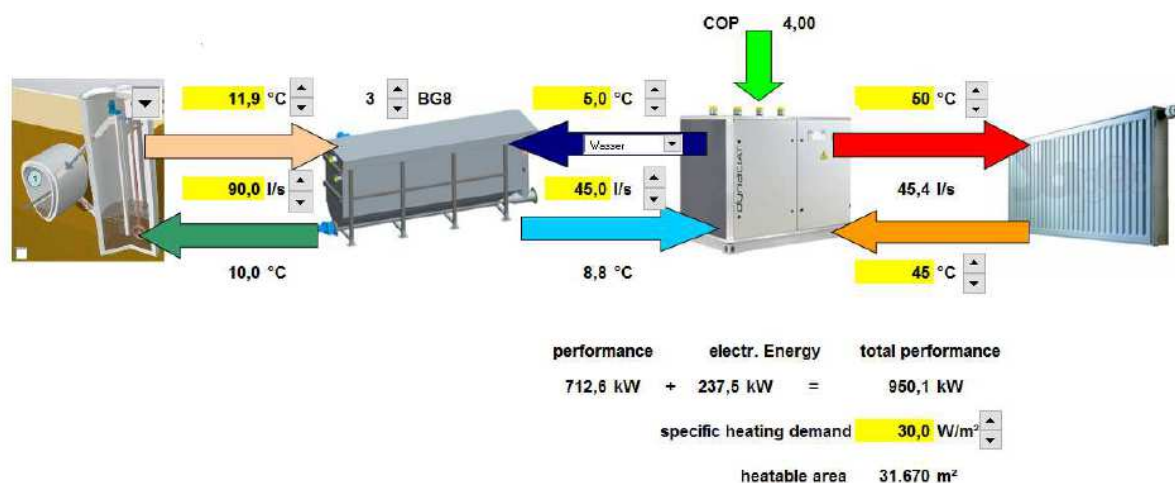
Q_{VT}	713 kW	tepelný výkon výměníku tepla
COP	4.0	topný faktor (odhad)
$Q_{TČ}$	951 kW	tepelný výkon tepelného čerpadla

V následujícím grafu na obrázku 46 lze vidět závislost průtoku odpadní vody na tepelném výkonu při teplotním rozdílu 1,9 °C. Platí, že čím větší je průtok odpadní vody na výměník, tím větší je tepelný výkon výměníku.)



Obr.46 – Závislost využitelného tepla na průtoku odpadní vody - vytápění

Závěrem bylo společně s firmou Huber navrženo schéma celé rekuperace tepla z odpadní vody při vytápění (obrázek 47).



Obr.47 – Schéma vytápění

Chlazení

U tepelných výměníků s velkým výkonem se vyplatí využít tepelné čerpadla i pro chlazení. K návrhu chlazení byla použita průměrná teplota odpadní vody ve stoce ve všech měřených měsících. Teplota vody přitékající na výměník byla určena. Součinitel prostupu tepla byl dodán od výrobce Huber, stejně jako účinná plocha výměníku. Celkový chladicí výkon výměníku činil 909 kW. Z této hodnoty bylo zpětně dopočítáno ochlazení odpadní vody. Odpadní voda bude ohřáta o 2,4 °C. Následně byl vypočítán tepelný výkon tepelného čerpadla s odhadnutou hodnotou chladicího faktoru. Výpočty lze vidět v tabulce 19.

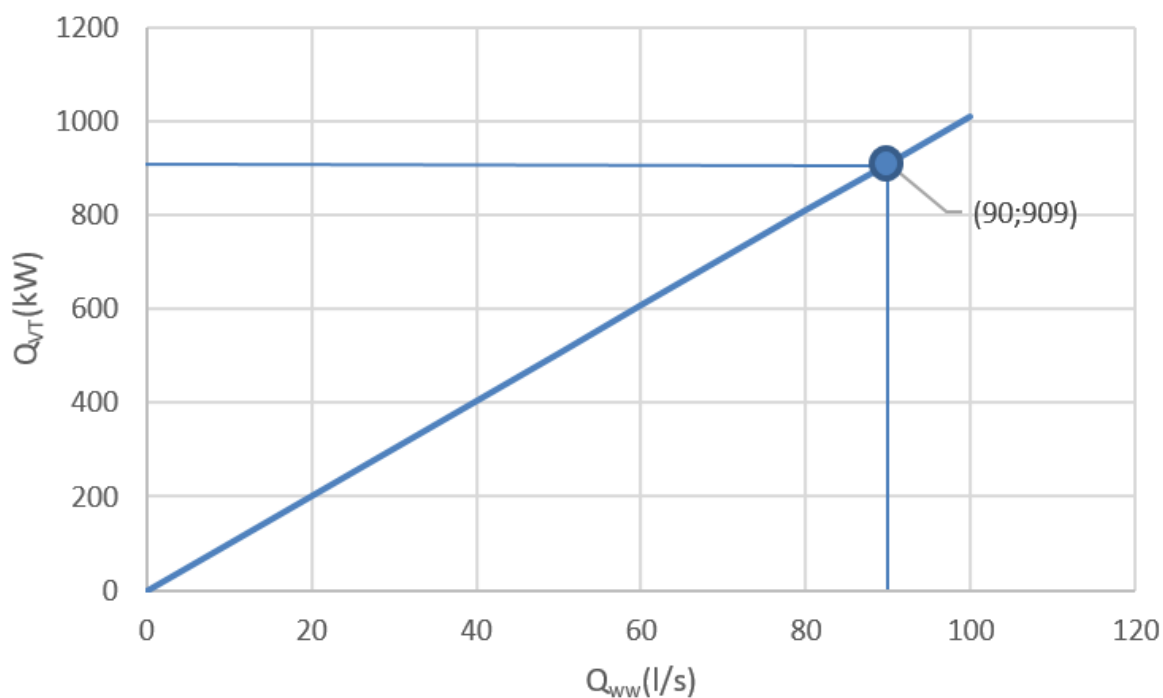
TAB. 19 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKU, SNÍŽENÍ TEPLoty ODPADNÍ VODY A TEPELNÉHO VÝKONU ČERPADLA - CHLAZENÍ

T	15.2 °C	průměrná teplota odpadní vody na přítoku na výměník
T	24 °C	teplota vody na přítoku na výměník
Δθ	8.80 K	průměrný teplotní rozdíl
U	689 (W/m²*K)	součinitel prostupu tepla
A_{VT}	150 m²	účinná plocha výměníku tepla
Q_{VT}	909 kW	tepelný výkon výměníku tepla

Q_{VT}	909 kW	tepelný výkon výměníku tepla
c	4.19 kJ/(kg*K)	měrná tepelná kapacita odpadní vody
ρ	1 kg/l	hustota odpadní vody
Q_{ww}	90 l/s	průtok odpadní vody (určen)
T	2.4 °C	průměrný teplotní rozdíl
T	15.2 °C	teplota odpadní vody na přítoku na výměník
T	17.6 °C	teplota odpadní vody na odtoku na výměník

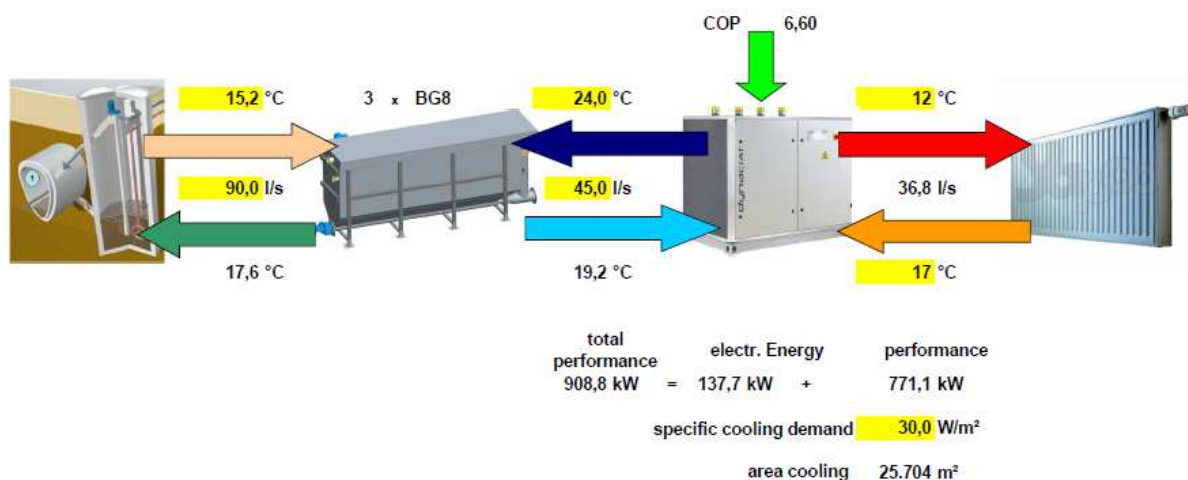
Q_{VT}	909.48 kW	tepelný výkon výměníku tepla
COP	6.60	topný faktor (odhad)
$Q_{TČ}$	1071.89 kW	tepelný výkon tepelného čerpadla

V následujícím grafu na obrázku 48 lze vidět závislost průtoku odpadní vody na tepelném výkonu při teplotním rozdílu 2,4 °C. Platí, že čím větší je průtok odpadní vody výměník, tím větší je tepelný výkon výměníku.



Obr.48 – Závislost využitelného tepla na průtoku odpadní vody – chlazení

Závěrem bylo společně s firmou Huber navržnuto schéma celé rekuperace tepla z odpadní vody při chlazení (obrázek 49).



Obr.49 – Schéma chlazení

Byly navrženy tři výměníky RoWin 8, skládající se z vinutého potrubí DN 20 připevněného na nerezový rám v nádrži výměníku. Celá konstrukce je vyrobená z nerezové oceli 304L nebo materiálu podobné kvality mořené v kyselině (kromě vzduchotechniky a hadic). Maximální obsah kyseliny sírové ve vzduchu může být 6 ppm.

Technické údaje:

Značka:	Huber
Typ:	Rowin 8
Počet modulů:	8
Plocha výměníku:	50 m ²
Průtok odpadní vody:	1 – 32 l/s
Průtok čisté vody:	2,4 – 16 l/s
Ztráta na sekundárním okruhu:	< 200 mbar

Nádrž výměníku slouží k integraci jednotlivých modulů výměníku. Jedná se o stabilní svařovanou konstrukci s vysokou tuhostí. Celá konstrukce je plynotěsná. Součástí nádrže je i tlaková sonda k měření hladiny a tepelná sonda k měření teploty.

Technické údaje:

Šířka (včetně tvarovek):	B = 1767 mm
Délka:	L = 4546 mm
Výška:	H = 2380 mm

Přítok odpadní vody DN 200

Odtok odpadní vody DN 250

Přítok čisté vody (do TČ) DN 125

Odtok čisté vody (do TČ) DN 125

Čištění probíhá za pomoci čistícího vozíku s řetězovým pohonem, který zcela čistí výměníky tepla při jízdě na horní straně nádrže výměníku tepla nad hladinou odpadní vody v nádrži.

Technické údaje:

Značka: Bauer

Typ: BF40-74W

Výkon: $P = 1,1 \text{ kW}$

Jmenovitý proud: $I = 2,75 \text{ A}$

Napětí: $U = 400 \text{ V}$

Frekvence: $f = 50 \text{ Hz}$

Vypouštěcí ventil je určený pro vypouštění sedimentů odstraňovaných horizontálním šnekovým dopravníkem ze dna nádrže tepelné výměníku.

Technické údaje:

Materiál: GG-25

Materiál desky ventilu: 1,4301 apod.

Výkon: $P = 0,37 \text{ kW}$

Napětí: $U = 400 \text{ V}$

Frekvence: $f = 50 \text{ Hz}$

K odstranění sedimentů dochází za pomoci horizontálního šnekového dopravníku ze dna nádrže výměníku tepla do potrubí vedoucího zpět do kanalizační stoky.

Technické údaje:

Značka: Bauer

Typ: BF40-74W

Výkon: $P = 1,5 \text{ kW}$

Jmenovitý proud: $I = 3,6 \text{ A}$

Napětí: $U = 400 \text{ V}$

Frekvence: $f = 50 \text{ Hz}$

Ve výměníku je nutné tvořit turbulentní proudění za pomoci bublin z lamelového kompresoru. Dochází tak k tvorbě rovnoměrného průtoku v celém výměníku a optimálnímu přenosu tepla na modulu tepelného výměníku. Kompresor je nastaven na neustálý provoz.

Systém vzduchotechniky se skládá z:

- vzduchotěsného sací filtru,
- vzduchového potrubí (materiál plast),
- armatur na tlakový vzduch,
- konzol pro montáž na zeď,
- rotačního lamelového kompresoru s tlakovým regulačním ventilem.

Technické údaje:

Značka:	Gardner Denver apod.
Typ:	V-DTN 41 (01)
Sací výkon:	$Q = 43,5 \text{ m}^3/\text{h}$
Přetlak	$p = 0,7 \text{ bar}$
Výkon	$P = 1,5 \text{ kW}$
Jmenovitý proud:	$I = 6,6/3,8 \text{ A}$
Napětí	$U = 400 \text{ V}$
Frekvence:	$f = 50 \text{ Hz}$
Otáčky:	1450 ot/min
Váha:	$w = 46 \text{ kg}$
Frekvence:	$f = 50 \text{ Hz}$

Pístový kompresor slouží k dodání tlakového vzduchu do systému. Jedná se o automaticky pracující kompresor, chlazený vzduchem a mazaný olejem. Úkolem stroje je údržba systému. Kompresor se automaticky zapíná v závislosti na tlaku. Obsahuje rovněž nastavitelný tlakový ventil s manometrem.

Technické údaje:

Značka:	Kaeser apod.
Množství vzduchu při 6 barech:	$Q = 115 \text{ l/min}$
Tlak:	$p = 6 \text{ bar}$
Výkon:	$P = 1,1 \text{ kW}$

Napětí:	$U = 400 \text{ V}$
Frekvence:	$f = 50 \text{ Hz}$
Rotační rychlost kompresoru:	$n = 1450 \text{ l/min}$
Váha:	$w = 29 \text{ kg}$
Objem komory:	$V = 24 \text{ L}$

4.6.1 NÁVRH ODTOKOVÉHO POTRUBÍ

Odtokové potrubí tvoří tři potrubí z nerez DN 250, kterými odtéká odpadní voda a sedimentující nerozpuštěné látky z výměníku tepla. Hlavní odtokové potrubí z nerez DN 300, do kterého se tři potrubí DN 250 napojují, je navrženo ve sklonu 3%, aby tak docházelo k dostatečné unášející rychlosti a nerozpuštěné látky neulpívaly na stěnách potrubí. Za systémem mechanického předčištění přechází nerezové potrubí do sklonu 40%, aby došlo k splachu shrabků z mechanického předčištění. Skrz stěnu prochází odtokové potrubí prostupem utěsněným článkovým těsněním. Dno výtoku do kanalizační stoky se nachází nad průměrnou maximální hladinou.

4.6.2 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA

Kaskáda deseti tepelných čerpadel (4 tepelné čerpadlo IVT GEO G 272, 6 tepelných čerpadel GEO G 280) voda-voda chladí výměník odpadní vody a dodávají teplo do akumulátorů tepla nebo bojlerů. Tepelná čerpadla umožňují souběžnou výrobu tepla a chladu (nejsou reverzibilní). Pokud je potřeba více chladu než tepla (chlazení v létě), přepne se jeden z ventilů a přebytečné teplo se odvede do výměníku odpadní vody. Chlazení pro systém je aktivní, tzn. tepelné čerpadlo chladí v létě vodu pro klimatizaci a zároveň je ohřívána voda pro TUV. Příprava TUV probíhá ve výměníkové stanici průtočným ohřevem. Voda je připravována průtočným ohřevem přes deskový výměník ve výměníkové stanici. Tepelná čerpadla IVT GEO nemají vestavěná oběhová čerpadla, ale instalují se externě. Tato čerpadla jsou však dodávána jako příslušenství, stejně jako regulace a čidla teploty. Tepelná čerpadla v kaskádě mají společné venkovní čidlo TL1, čidlo teploty topné vody T0, čidlo teploty akumulátoru TC2 a čidlo výstupní teploty z kotle TC0. Každé tepelné čerpadlo v kaskádě může ohřívat svůj zásobník TV a tak může mít k sobě připojené své čidlo teploty teplé vody TW. V případě, že několik TČ ohřívá jeden zásobník TV, mají čidlo TW společné. Každé tepelné čerpadlo je vybaveno dvěma softstartéry. Součástí příslušenství je i pojistný ventil pro studenou stranu a plastová expanzní nádoba primáru. K tepelným čerpadlům jsou připojeny akumulátory chladu a tepla, každý o objemu 4 m^3 . Tepelné čerpadlo bude napojeno potrubím HDPE (spoje výhradně elektrospojky) z výměníku shora. Pro všechny rozvody studené strany ve strojovně TČ je nutné izolovat kaučukovou izolací. Jako nemrznoucí směs do tepelných čerpadel je využit lín a voda v poměru 1 : 2. Teplotní spád na tepelném čerpadle je 5 °C .

Topná voda je ohřívána ekvitermně přímo v tepelném čerpadle. Pokud dostane systém signál na ohřev TUV, přepne se trojcestný ventil a začne se v bojleru TUV ohřívat na plný výkon tepelného čerpadla. Ohřev TUV má vyšší prioritu než vytápění. Přepínání mezi tepelným čerpadlem a bivalentním zdrojem je omezeno na co nejmenší míru.

Standardně je v systému zabudována mikroprocesorová regulace určená pro řízení tepelného čerpadla a ovládání prvků v topném systému (dotopový kotel, oběhové čerpadlo systému, trojcestný ventil pro TUV). Ostatní údaje o tepelném čerpadle jsou uvedeny v příloze 5.

Technické údaje:

Značka:	IVT GEO G 272/G 280
Počet:	4/6
Topný výkon:	970 kW (při 10°C/50°C)
Topný faktor:	4,2
Maximální teplota při vytápění:	65°C
Chladicí výkon:	760 kW (při 7°C/25°C)
Chladicí faktor:	7

4.7 TECHNICKO EKONOMICKÉ POSOUZENÍ METODOU NPV

Čistá současná hodnota neboli NVP, je ekonomický ukazatel, který vyhodnocuje, kolik nám daná investice v budoucnu vynesie. Řeší peněžní toky, cash flow, které nám investice nebo projekt přinese. Důležité u výpočtu NPV je odhadnout budoucí cash flow, který s danou investicí souvisí. Dalším velmi důležitým bodem je správně určit dobu životnosti projektu, která nám velmi výrazně ovlivní hodnotu NPV.

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

T	doba životnosti
CF _t	cash flow daného roku
R	diskont

Nejprve bylo nutné vypočítat investiční náklady na stavbu, jak pro technologickou, tak pro stavební část (tabulky 20, resp. 21). Každému prvku byla určena životnost a to buď 15, 30 nebo 60 let. Všechny ekonomické faktory byly počítány na dobu 30 let s diskontní mírou 3 %. Výsledné NPV pro investiční náklady je vypočítáno v tabulce 22.

TAB. 20 INVESTIČNÍ NÁKLADY NA TECHNOLOGICKOU ČÁST

Popis opatření	Délka/Počet	Jednotka	Jedn. cena	Celkem
Obnažení stoky DN 5100/2300, prostupy, napojení potrubí, zásyp stoky, oprava komunikace	2	kpl	650 000	1 300 000
Propojovací kanalizace TLT DN 300 ve zpevněných plochách, prostupy	4	bm	15 000	60 000
Výtlač NEREZ DN 250, prostupy	19	bm	1 400	26 600
Výtlač NEREZ DN 200	9	bm	1 200	10 800
Výtlač NEREZ DN 100	3	bm	500	1 500
Odtokové potrubí NEREZ DN 250, prostupy	9	bm	1 400	12 600
Odtokové potrubí NEREZ DN 300	12	bm	2 400	28 800
Odtokové potrubí NEREZ DN 300 ve zpevněných plochách, prostupy	4	bm	15 000	60 000
Čerpadla včetně příslušenství (tyče, řetězy, spínače, FM, ad.)	1	kpl	500 000	500 000
Výměníky tepla, předčištění, tlakové a tepelné sondy, průtokoměry	1	kpl	8 900 000	8 900 000
Armatury (šoupata, zpětné klapky)	1	kpl	270 000	270 000
Tepelné čerpadla a příslušenství	1	kpl	4 000 000	4 000 000
Akumulátory tepla a chladu, materiál	1	kpl	1 000 000	1 000 000
Ohřev teplé vody (zásobníky, průtokový ohřev)	1	kpl	500 000	500 000
Ostatní (odvětrání, stupadla, článkové těsnění, závěsy, poklopy)	1	kpl	50 000	50 000
Dodávky a montáže	1	kpl	250 000	250 000
Celkem				15 670 300

TAB. 21 INVESTIČNÍ NÁKLADY NA STAVEBNÍ ČÁST

Popis opatření	Délka/Počet	Jednotka	Jedn. cena	Celkem
Budova v 1 NP	1	kpl	1 400 000	1 400 000
Betonáž v 1 PP	1	kpl	50 000	50 000
Celkem				1 450 000

TAB. 22 NPV PRO INVESTIČNÍ NÁKLADY ZA 30 LET PŘI 3% DISKONTNÍ SAZBĚ

Investiční náklady	NPV (Kč)	Celkem (Kč)
Investiční náklady ž 60	1 147 550	750 150
Investiční náklady ž 30	8 951 456	9 220 000
Investiční náklady ž 15	9 676 414	12 000 000
Celkové investiční náklady	19 775 421	21 970 150

K technicko-ekonomickému posouzení provozních nákladů je nutné znát cenu elektrické energie, která je třeba k provozu výměníku, předčištění a tepelných čerpadel. Cena elektrické energie byla určena na 3,78 Kč/kWh, což je aktuální průměrná cena elektrické energie v České republice. Cena elektrické energie zůstává po celou dobu výpočtu NPV konstantní. Po zadání vstupních údajů (tabulka 23) byly vypočtena hodnota celkového NPV pro provozní náklady (tabulka 24).

TAB. 23 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET PROVOZNÍCH NÁKLADŮ

Diskontní sazba	0.03
Cena za člověkohodinu	250.00 Kč
Cena za kWh	3.78 Kč
Údržba	0.02
Opravy	0.03
Množství čerpaných vod	2838240.00 m ³ /rok
Spotřeba při čerpání	0.03 kWh/m ³
Počet člověkohodin na ČS	20.00 hod/měs
Roční elektrická spotřeba výměníku a předčištění	27785.43 kWh
Roční elektrická spotřeba pro vytápění a ohrev TUV	1268064.00 kWh
Roční elektrická spotřeba pro chlazení a ohrev TUV	473616.00 kWh

TAB. 24 NPV PRO PROVOZNÍ NÁKLADY ZA 30 LET PŘI 3% DISKONTNÍ SAZBĚ

Provozní náklady	NPV (Kč)	Celkem (Kč)
Údržba systému	6 459 370	9 886 568
Opravy systému	3 809 739	5 690 109
Elektrická energie pro systém	137 828 203	210 956 785
Kontrola systému	1 176 026	1 800 000
Celkové provozní náklady	149 273 337	228 333 461

Vytápěním tepelnými čerpadly získáváme teplo. Cena tepla a chladu z kWh byla určena na 1,5 Kč a zůstává rovněž po celou dobu výpočtu NPV konstantní. Po zadání vstupních údajů (tabulka 25) byla vypočtena hodnota celkového NPV pro zisk (tabulka 26).

TAB. 25 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET ZISKU

Vytápění a ohřev TUV	
Počet dní	222 dní
Výroba tepla za den	713 kW
Vyrobena tepla	3 796 733 kWh/rok
Cena tepla za kWh	1.50 Kč

Chlazení a ohřev TUV	
Počet dní	143 dní
Výroba chladu za den	771 kW
Vyrobena chladu	2 646 072 kWh/rok
Cena chladu	1.50 Kč

TAB. 26 NPV PRO ZISK ZA 30 LET PŘI 3% DISKONTNÍ SAZBĚ

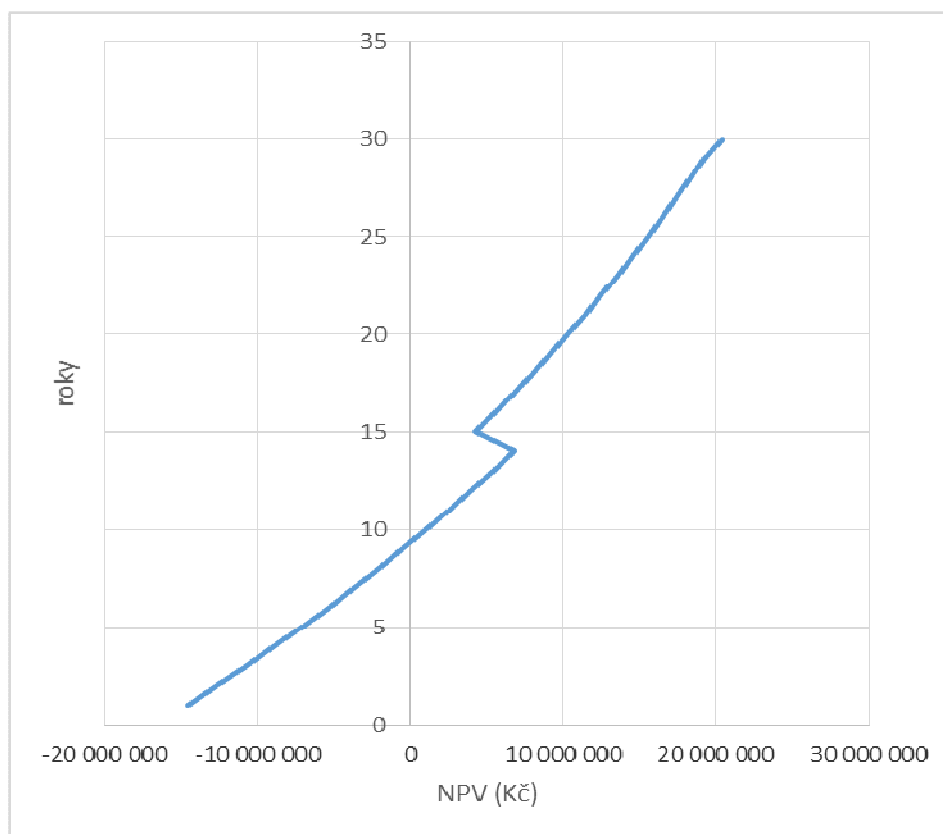
Zisk	NPV (Kč)	Celkem (Kč)
Rekuperace tepla z odpadních vod	189 422 726	289 926 216
Celkový zisk	189 422 726	289 926 216

Pro celkové NPV je potřeba odečíst NPV investičních a provozních nákladů za 30 let od zisku za 30 let. Celkové NPV projektu po 30 letech činí 20 373 968 Kč, viz tabulka 27.

TAB. 27 CELKOVÉ NPV PRO PROJEKT ZA 30 LET PŘI 3% DISKONTNÍ SAZBĚ

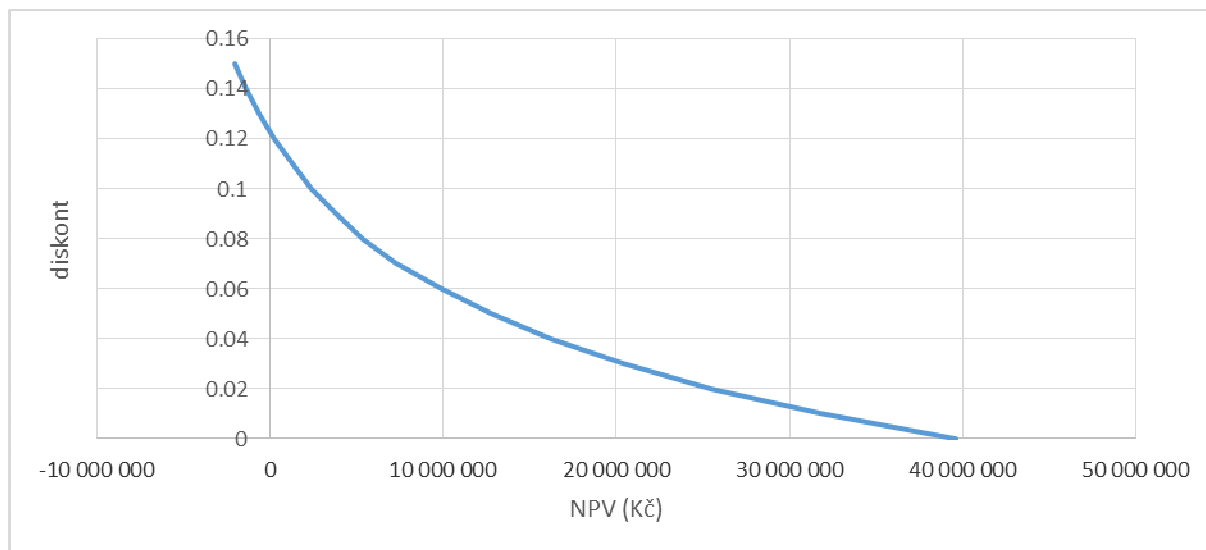
	NPV (Kč)	Celkem (Kč)
Celkové náklady	20 373 968	39 622 605

Na obrázku 50 lze vidět vývoj NPV v jednotlivých letech. Z grafu lze vyčíst, že investice je výhodná až po téměř 9 letech.



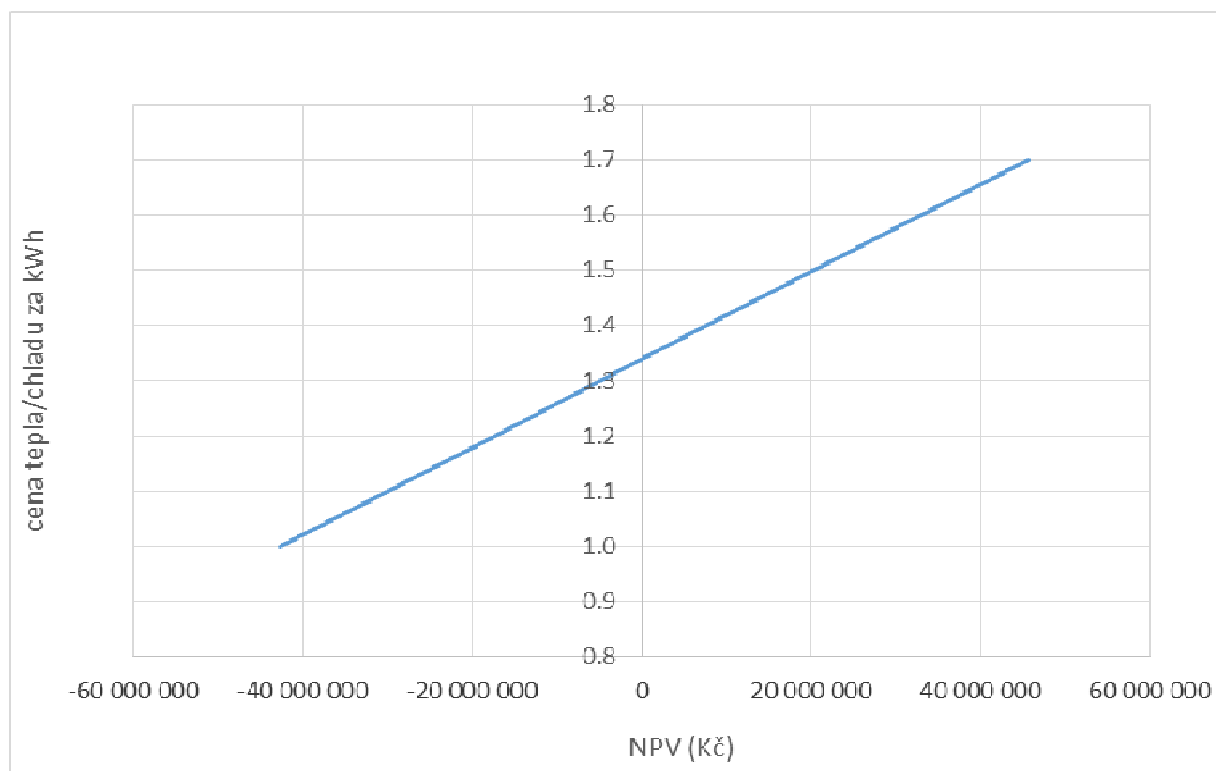
Obr.50 – Vývoj NPV v jednotlivých letech

Na obrázku 51 lze vidět rozdílné diskontní sazby a jejich vliv na NPV za 30 let. Od diskontní sazby 12 % přestává být investice výhodná.



Obr.51 – Závislost NPV na diskontní míře

Obrázek 52 ukazuje, jak velký vliv má na NPV za 30 let cena tepla a chladu. Do hodnoty 1,35 Kč/kWh je investice záporná. Proto se cena za kWh za teplo musí pohybovat nad touto hodnotou.



Obr.52 – Závislost NPV na ceně za kWh za teplo či chlad

5 ZÁVĚR

Diplomová práce nabízí varianty rekuperace tepla z odpadních vod a zaměřuje se především na rekuperaci tepla z odpadních vod na obtoku z kanalizační stoky pomocí modulárních výměníků. Na začátku práce jsou popsány jednotlivé způsoby, jak využít tepelnou energii odpadních vod, ať už přímo v budově, na kanalizační stoce mimo budovu nebo před/za ČOV. Každá z metod je velmi specifická a vyžaduje individuální přístup při řešení. Při případné instalaci v České republice je možnost se inspirovat v zahraničí. Pro vypracování projektové dokumentace je ideální vizuální prohlídka zahraničního projektu a případná konzultace s provozovatelem. Důležité je rovněž zvolit způsob výroby tepla. Ve většině případů není tepelný výkon výměníků dostatečný, aby systém fungoval monovalentně.

Moderním způsobem rekuperace tepla z odpadní vody je využití modulárních tepelných výměníků na obtoku z kanalizační stoky. Výměníky jsou zpravidla čištěny automaticky a dochází v nich k velkým tepelným výkonům. V diplomové práci je zpracován návrh vytápění polyfunkční budovy na kmenové stoce ve městě Brně. Tato lokalita splňuje většinu kritérií návrhu modulárních tepelných výměníků. Teplota odpadní vody neklesá pod 10 °C a průtoky zřídka klesnou pod 100 l/s. Návrhový průtok na výměník byl zvolen na 90 l/s, tedy na hodnotu, která bude zaručovat téměř stálý přítok na výměník. Při návrhovém průtoku jsou výměníky schopny produkovat 713 kW tepelné energie v zimě a 909 kW v létě. Pro provozovatele kanalizační sítě je důležitá hodnota ochlazení odpadní vody, která v zimě činí 1,89 °C a v létě 2,41 °C. Využití tepelné energie tepelnými čerpadly v tomto případě vede k vysokým topným a chladícím faktorům. Kaskáda tepelných čerpadel dokáže vyprodukovat až 970 kW tepla v topné sezoně a 760 kW při chlazení. Při porovnání návrhové potřeby tepla 950 kW a 120 kW pro ohřev TUV systém celoročně pokrývá potřebu pro ohřev TUV a bivalentně funguje jako energetický zdroj pro vytápění a chlazení. Jednou z překážek projektu je prostorová a polohová náročnost. Tepelné výměníky vyžadují přístavbu nového objektu a umístění čerpací jímky do polyfunkční budovy.

V závěru práce je vypracováno technicko-ekonomické posouzení návrhu metodou NPV. Je uvažováno s 3% diskontní sazbou po dobu 30 let. Systém vyžaduje velké počáteční a provozní investice. Velkou roli tak hraje, jaký je zisk za kWh tepla za teplo a chlad. Při ceně 1,5 Kč/kWh dochází ke kladné současné hodnotě po 9 letech provozu. Cena tepla a chladu musí být vyšší než 1,4 Kč/kWh, protože jinak je investice nevýhodná.

Z diplomové práce je patrné, že odpadní voda je alternativní zdroj tepelné energie, který by mohl v České republice najít své uplatnění pro vytápění, ohřev TUV i chlazení. V dnešní době se dává čím dál větší důraz na snížení energetické spotřeby s cílem zvýšit energetickou účinnost. Se zvyšující se životní úrovní, která sebou přináší i vyšší spotřebu energií, je nutností využívat obnovitelné zdroje, protože dopad na životní prostředí, především emise oxidu uhličitého ze spalování fosilních paliv, jsou velký důvod k obavám.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Strategie Evropa 2020. *Vláda České republiky* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <https://www.vlada.cz/cz/evropske-zalezitosti/evropske-politiky/strategie-evropa-2020/strategie-evropa-2020-78695/>
- [2] Schmid F. Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers, Energy-engineer FH, Swiss Energy Agency for Infrastructure Plants. Zürich, Switzerland, 2009.
- [3] ANGELAKIS, Andreas a Shane SNYDER. Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. *Water* [online]. 2015, 7(9), 4887-4895 [cit. 2016-11-23]. DOI: 10.3390/w7094887. ISSN 2073-4441. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2073-4441/7/9/4887/>
- [4] Sewage waste energy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Sewage_waste_energy
- [5] HOLBA, Marek, Adam BARTONÍK, Ondřej ŠKORVAN, Petr HORÁK, Marcela POČINKOVÁ a Karel PLOTĚNÝ. Energetický potenciál odpadních vod. *Vodní hospodářství* [online]. 2012, 2012(2) [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2012/vh02-2012.pdf>
- [6] HEIDRICH, E. S., T. P. CURTIS a J. DOLFING. Determination of the Internal Chemical Energy of Wastewater. *Environmental Science & Technology* [online]. 2011, 45(2), 827-832 [cit. 2016-11-23]. DOI: 10.1021/es103058w. ISSN 0013-936x. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es103058w>
- [7] HART, John. Wastewater Heat Recovery: Technologies & Applications. In: *Kerr Wood Leidal* [online]. Kelowna, 2011 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: http://www.kwl.ca/sites/default/files/BCWWA2011_JCH2_Presentation.pdf
- [8] JIRMUS, Ing. Vladimír a Ing. Karel PLOTĚNÝ. *Recyklace vod a energie z vody* [online]. 2016, s. 7 [cit. 2016-10-22]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2016/prispevky/137.pdf>
- [9] Gabor, Timea, RUSU, T., Avram, Simona, DAN, V., Wastewater – source of energy, Scientific Buletin, Series D., Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering, Vol. XXV, Nr. 1, North University of Baia Mare Publishing House, ISSN 1582-0548, 2011, 75 – 83.

- [10] Power-Pipe TM Fact Sheet & Case Study. In: *RenewABILITY Energy Inc* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: http://www.plantservices.com/assets/wp_downloads/pdf/renew_best_practices_08.pdf
- [11] Save Money & Energy While Showering. In: *Power-Pipe UK Sales and Enquires* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://powerpipehr.co.uk/>
- [12] DWHR Categories. In: *Meander Heat Recovery* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.meanderhr.com/technical/types-of-dwhr-system/>
- [13] SAKAL - Technologie pro úsporu energie [online]. In: . [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://sakal-ovt.cz/cs/>
- [14] Hot water heat recovery. In: *Silver Spray - Evolving plans and ideas for a Perranporth Eco Build* [online]. 2013 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.silverspray.co.uk/category/eco-strategies/page/2/>
- [15] Waste Water Heat Recovery Unit. In: *Earth Save Products Ltd* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.earthsaveproducts.com/product/waste-water-heat-recovery-unit/>
- [16] PERÁČKOVÁ, Jana a Veronika PODOBEKOVÁ. Možnosti využití tepla z vnějších kanalizačních systémů. In: *Tzbinfo* [online]. Stavebná fakulta, STU Bratislava, Katedra technických zariadení budov, 2014 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: Zdroj: <http://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/11687-moznosti-vyuziti-tepla-z-vnejsich-kanalizacnich-systemu>
- [17] Heating with wastewater heat Best practice Catalogue. In: *Intelligent Energy Europe Programme of the European Community* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: https://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/bp_catalogue_070321.pdf
- [18] SWT Sewage Heat Exchanger. In: *Sehenstar Energy Technology* [online]. 2015 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.sehenstar.com/ShowProducts/?9-1.html>
- [19] Autobau Romanshorn. In: *Rabtherm* [online]. 2010 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: http://www.rabtherm.com/images/Referenz_Romanshorn_CH_E_2.pdf
- [20] Energy from Wastewater. In: *Rabmer* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: http://www.rabmer.at/fileadmin/user_upload/rabmer/greentech/Download_NEU/ea-a-ppt-en.pdf
- [21] Investujte do tepelných čerpadel. In: *Veolia* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.veoliawater2energy.com/cz/reference/tepelna-cerpadla/>

- [22] LINES, James R. *Heat Exchangers in Municipal Wastewater Treatment Plants* [online]. In: . [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.graham-mfg.com/usr/pdf/techlibheattransfer/13.pdf>
- [23] Spirálové výměníky tepla. In: *Alfa Laval* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <https://local.alfalaval.com/cs-cz/produkty/prenos-tepla/spiralove/Pages/spiralove-vymeniky-tepla.aspx>
- [24] Design Features & Benefits. In: *Gooch Thermal* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.goochthermal.com/spiral-heat-exchanger/design/>
- [25] Special heat exchangers make it possible to operate sewage treatment plants more efficiently. In: *DAS Europe* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.das-europe.com/downloads/wastewater-heat-exchanger.html>
- [26] *Huber CS spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://www.hubercs.cz/cz.html>
- [27] PERÁČKOVÁ, Jana. Využití tepelné energie z kanalizačních systémů.. Katedra technických zařízení budov Stavební fakulty STU v Bratislavě, 2010 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/zdravotni-technika/vyuziti-tepelne-energie-zkanalizacnich-systemu>
- [28] *JWC International* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: http://www.jwci.co.uk/wp-content/datasheets/Grinders_CZ_06.pdf
- [29] *DDI Heat Exchangers Inc.* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://ddi-heatexchangers.com/>
- [30] *International Wastewater Systems* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://www.sewageheatrecovery.com/>
- [31] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [32] Typy tepelných čerpadel. In: *Www.kto.cz* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: http://www.kto.cz/picture/pdf/typy_tc.pdf
- [33] Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch princip. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-vzduch-vzduch>
- [34] PARKER, Erica, Aimee ST. GERMAIN a Elise ST. LAURENT. *A Study of Waste Water Energy Recovery and its Implementation in the Commonwealth of Massachusetts* [online]. In: . 2013, s. 103 [cit. 2016-10-22]. Dostupné z: https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-101713-174945/unrestricted/WWER_IQP_Final_Report_Parker_St__Germain_St__Laurent.pdf

- [35] BUZÁS, Veronika a Jana PERÁČKOVÁ. Energetické systémy pro využití tepla z odpadní vody. In: *ASB portál* [online]. 2016 [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/energeticke-systemy-pro-vyuziti-tepla-zodpadni-vody>
- [36] Výzkumná zpráva č. 12657089 z roku 2016 s názvem „Multifunkční centrum EDISON – posouzení využití tepla z odpadních vod, tepla z vrtů a využití šedých vod“. Zhotovitelem této zprávy bylo Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Centrum AdMaS. Hlavní řešitelem byl prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA (dipl. S.E. Delft). Spoluřešiteli byli Ing. Jakub Raček a Ing. Michal Úterský.
- [37] Projektová dokumentace pro DUR vytvořená firmou ARCHICON, s.r.o. v prosinci 2012. Hlavním inženýrem projektu byla Ing. Hana Jindrová.
- [38] HERLE, Jaromír a kol. *Vodovodní a kanalizační tabulky*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983
- [39] *Návrh čerpadla Flygt* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: www.xylect.com

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 PRŮMĚRNÁ ROČNÍ PRODUKCE A SPOTŘEBA TEPLA [7].....	13
TAB. 2 TEPLoty V KANALIZAČNÍ STOCE	45
TAB. 3 PRŮTOKY V KANALIZAČNÍ STOCE	45
TAB. 4 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO NÁVRH PROPOJOVACÍHO POTRUBÍ	50
TAB. 5 VÝPOČET VÝŠKY HLADIN V KANALIZAČNÍ STOCE	51
TAB. 6 NADMOŘSKÉ VÝŠKY HLADIN V KANALIZAČNÍ STOCE	51
TAB. 7 VÝPOČET ZTRÁT TŘENÍM V PROPOJOVACÍM POTRUBÍ	51
TAB. 8 VÝPOČET MÍSTNÍCH ZTRÁT V PROPOJOVACÍM POTRUBÍ	52
TAB. 9 CELKOVÉ ZTRÁTY V PROPOJOVACÍM POTRUBÍ	52
TAB. 10 VYPOČTENÉ NADMOŘSKÉ VÝŠKY	52
TAB. 11 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO NÁVRH ČERPADEL	54
TAB. 12 VÝPOČET ZTRÁT TŘENÍM NA VÝTLAKU	54
TAB. 13 VÝPOČET MÍSTNÍCH ZTRÁT NA VÝTLAKU	55
TAB. 14 CELKOVÁ ZTRÁTA NA VÝTLAKU	56
TAB. 15 PARAMETRY VÝTLAKU	56
TAB. 16 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO NÁVRH VÝMĚNÍKU TEPLA	60
TAB. 17 VÝPOČET MNOŽSTVÍ VYUŽITELNÉHO TEPLA	60
TAB. 18 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKU, SNÍŽENÍ TEPLoty ODPADNÍ VODY A TEPELNÉHO VÝKONU ČERPADLA - VYTÁPĚNÍ	61
TAB. 19 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU VÝMĚNÍKU, SNÍŽENÍ TEPLoty ODPADNÍ VODY A TEPELNÉHO VÝKONU ČERPADLA – CHLAZENÍ	63
TAB. 20 INVESTIČNÍ NÁKLADY NA TECHNOLOGICKOU ČÁST	70
TAB. 21 INVESTIČNÍ NÁKLADY NA STAVEBNÍ ČÁST	71
TAB. 22 NPV PRO INVESTIČNÍ NÁKLADY ZA 30 LET PŘI 3% DISKONTNÍ SAZBĚ	71
TAB. 23 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET PROVOZNÍCH NÁKLADŮ	71
TAB. 24 NPV PRO PROVOZNÍ NÁKLADY ZA 30 LET PŘI 3% DISKONTNÍ SAZBĚ	72
TAB. 25 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET ZISKU	72

TAB. 26 NPV PRO ZISK ZA 30 LET PŘI 3% DISKONTNÍ SAZBĚ	72
--	-----------

TAB. 27 CELKOVÉ NPV PRO PROJEKT ZA 30 LET PŘI 3% DISKONTNÍ SAZBĚ	73
---	-----------

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.1 – Metody rekuperace tepla z odpadní vody [2]</i>	14
<i>Obr.2 – Měděné potrubí [11]</i>	15
<i>Obr. 3 – Schéma zapojení měděného potrubí [12]</i>	15
<i>Obr.4 – Sprchový výměník NELA od firmy SAKAL [13]</i>	16
<i>Obr.5 –Schéma zapojení sprchového koutu se zabudovaným výměníkem [12]</i>	17
<i>Obr.6 – Schéma zapojení sprchového koutu s rekuperačním panelem [12]</i>	17
<i>Obr.7 – Schéma předeřívání studené vody do zásobníku TUV [14]</i>	18
<i>Obr.8 – Výměník tepla před instalací na dno stoky [18]</i>	19
<i>Obr.9 – Výměník tepla během instalace na dno stoky [18]</i>	19
<i>Obr.10 – Výměník tepla po instalaci na dno stoky [18]</i>	19
<i>Obr.11 – Výměník tepla zabudovaný do stěny stoky [19]</i>	20
<i>Obr.12 – Výměník tepla zabudovaný do žlabu [19]</i>	20
<i>Obr.13 – Výměník tepla s dvojím opláštěním – gravitační proudění [16]</i>	21
<i>Obr.14 – Výměník tepla s dvojím opláštěním – tlakové proudění [16]</i>	21
<i>Obr.15 – Varianta zapojení ocelového výměníku ze dvou potrubí na přímo [21]</i>	22
<i>Obr.16 – Varianta zapojení ocelového výměníku ze dvou potrubí přes jímku [21]</i>	22
<i>Obr.17 – Schéma ocelového výměníku ze dvou potrubí [21]</i>	23
<i>Obr.18 – Příklad ocelového výměníku ze dvou potrubí [21]</i>	23
<i>Obr.19 – Spirálové tepelné výměníky s distančními čepy [24]</i>	25
<i>Obr.20 – Spirálové tepelné výměníky bez distančních čepů [24]</i>	25
<i>Obr.21 – Deskové tepelné výměníky [26]</i>	26
<i>Obr.22 – Způsoby výroby tepla z odpadní vody tepelným čerpadlem [27]</i>	27
<i>Obr.23 – Huber mechanické předčištění Rok4 [26]</i>	29
<i>Obr.24 – Instalace Huber Rok4 [26]</i>	29
<i>Obr.25 – Drtič – zapojení v čerpací jímce [27]</i>	30
<i>Obr.26 – Drtič – potrubní zapojení [27]</i>	30
<i>Obr.27 – Drtič – potrubní zapojení [27]</i>	30
<i>Obr.28 – Drtící nože [27]</i>	30

<i>Obr.29 – Tepelný výměník Rowin [26]</i>	31
<i>Obr.30 – Systém Huber ThermWin [26]</i>	32
<i>Obr.31 – Tepelný výměník DDI [28]</i>	33
<i>Obr.33 – Systém SHARC [29]</i>	34
<i>Obr.34 – Princip tepelného čerpadla [21]</i>	36
<i>Obr.35 – Teploty v kanalizační stoce v měsíci únor</i>	46
<i>Obr.36 – Bezdeštné průtoky v kanalizační stoce v měsíci únor</i>	46
<i>Obr.37 – Teploty v kanalizační stoce v měsíci duben</i>	47
<i>Obr.38 – Bezdeštné průtoky v kanalizační stoce v měsíci duben</i>	47
<i>Obr.39 – Teploty v kanalizační stoce v měsíci srpen</i>	48
<i>Obr.40 – Bezdeštné průtoky v kanalizační stoce v měsíci srpen</i>	48
<i>Obr.41 – Teploty v kanalizační stoce v měsíci říjen</i>	49
<i>Obr.42 – Bezdeštné průtoky v kanalizační stoce v měsíci říjen</i>	49
<i>Obr.43 – Vykreslení hladin do profilu kanalizační stoky</i>	51
<i>Obr.44 – Návrh čerpadla s otáčkovou regulací</i>	57
<i>Obr.45 – Ochlazení odpadní vody</i>	61
<i>Obr.46 – Závislost využitelného tepla na průtoku odpadní vody – vytápění</i>	62
<i>Obr.47 – Schéma vytápění</i>	63
<i>Obr.48 – Závislost využitelného tepla na průtoku odpadní vody – chlazení</i>	64
<i>Obr.49 – Schéma chlazení</i>	65
<i>Obr.50 – Vývoj NPV v jednotlivých letech</i>	73
<i>Obr.51 – Závislost NPV na diskontní míře</i>	74
<i>Obr.52 – Závislost NPV na ceně za kWh za teplo či chlad</i>	74

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

TUV = teplá užitková voda

NPV = net present value; čistá současná hodnota

DN = jmenovitá světlost potrubí [mm]

ČOV = čistírna odpadních vod

NP = nadzemní podlaží

PP = podzemní podlaží

TLT = tvárná litina

ČJ = čerpací jímka

ppm = parts per milion, miliontina

PVC = polyvinylchlorid

kpl = komplet

bm = běžný metr

SEZNAM PŘÍLOH

1. Situace širších vztahů
2. Půdorysy; 1:75
3. Řezy; 1:75
4. Technická dokumentace - ponorné kalové čerpadlo
5. Technická dokumentace - tepelné čerpadlo